corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 29 ott. - 5 nov. 1960 - un fascicolo lire 150 **5°** numero

corso di RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

MAGNETISMO ed ELETTROMAGNETISMO

E' a tutti nota la particolare caratteristica offerta dalle cosiddette « calamite » e cioè la possibilità che esse hanno di esercitare una forza di attrazione sul ferro, sull'acciaio, sul nichel e sul cobalto. Questa forza di attrazione viene detta **magnetismo** e **materiali magnetici** vengono definiti i materiali citati sui quali la forza ha effetto; **magnete** è, con termine più appropriato, la calamita.

I magneti entrano a far parte di molti dispositivi elettrici di uso corrente, basti citare, l'altoparlante, la cuffia, alcuni tipi di microfoni e gli strumenti di misura.

Un ago di acciaio, magnetizzato nel modo che descriveremo in seguito, ha due punti di massima attrazione, situati precisamente alle sue estremità; al centro, l'attrazione è invece nulla. I punti in cui l'attrazione è massima vengono denominati **poli magnetici** e in ogni magnete essi sono almeno due. Se l'ago magnetizzato viene sospeso in modo che possa ruotare liberamente su un piano orizzontale (poggiato, ad esempio, su di un perno nel suo punto di centro oppure posato su un leggero supporto galleggiante su di un liquido) esso tende ad assumere una posizione diretta approssimativamente lungo l'asse Nord-Sud, in modo tale che, in corrispondenza dei due poli terrestri, si hanno sempre i medesimi poli magnetici. Quello dei due poli che punta verso il Nord si chiama polo Nord, e viceversa. Questa caratteristica è quella sfruttata per realizzare il noto strumento di orientamento detto « bussola ».

Intorno ad una semplice barra magnetizzata esiste sempre un **campo magnetico,** che consiste di linee immaginarie lungo le quali agisce la forza magnetica; esse vengono emanate dal polo Nord, e ritornano al polo Sud attraverso lo spazio circostante per raggiungere nuovamente il polo di origine attraverso il magnete stesso: in tal modo si forma un circuito magnetico chiuso.

Per **circuito magnetico** si intende perciò **un percorso definito, lungo il quale si manifestano le linee di forza create dalla forza magnetica.** Tale percorso è costituito in massima parte da materiale magnetico atto a permettere la presenza delle linee.

Essenzialmente, il circuito magnetico è analogo al circuito elettrico, attraverso il quale passa una corrente elettrica sotto l'influenza della forza elettromotrice. Così pure può rilevarsi l'analogia col campo elettrostatico di cui si è detto a pagina 30.

I magneti possono essere divisi in tre categorie: **magneti naturali,** che, allo stato naturale, si trovano sotto forma di un minerale detto « magnetite »; **magneti artificiali** (*permanenti*), costituiti da acciaio temperato (o da speciali leghe appositamente studiate, ad esempio acciaio con nichel, cobalto ecc.) e magnetizzati artificialmente una volta per sempre, ed *elettromagneti,* ossia nuclei di ferro dolce intorno al quale si trovano degli avvolgimenti di conduttore isolato, i quali, allorchè vengono percorsi da corrente, magnetizzano il nucleo stesso: detta magnetizzazione cessa però col cessare della corrente.

MAGNETI NATURALI

Già molti secoli fa, fu noto che alcuni minerali (ad esempio la magnetite: Fe_3O_4) hanno la caratteristica di attirare dei piccoli pezzi di ferro, e, dal momento che gran parte di questi minerali furono trovati in prossimità della località di Magnesia, in Asia Minore, i Greci definirono il materiale col nome di Magnetite.

I magneti naturali furono in seguito trovati anche negli Stati Uniti, in Norvegia ed in Svezia; la **figura 1-A** ne mostra l'aspetto generico.

MAGNETI ARTIFICIALI

Dal punto di vista pratico i magneti naturali furono ben presto soppiantati dai magneti artificiali costituiti da acciaio e da leghe speciali, come ad esempio l'Alnico, formato principalmente da alluminio, nichel e cobalto, ed il cui nome è derivato dalle iniziali dei nomi dei metalli che lo compongono (Al-ni-co). La **figura 1-B** mostra un magnete artificiale.

Una barra di ferro, di acciaio o di lega magnetica, può essere magnetizzata mediante l'inserimento in una bobina avvolta con filo isolato, attraverso la quale viene fatta passare una forte corrente continua come è illustrato nella sezione **A** della **figura 2**; in seguito vedremo più dettagliatamente come ciò si verifichi. La medesima barra può essere magnetizzata anche portandola a contatto con un'altra barra già magnetizzata, come è illustrato nella sezione **B** della **figura 2**; in questo caso la barra da magnetizzare assume, dopo il contatto, le medesime proprietà magnetiche di quella già magnetizzata, ossia ai suoi capi si formano due poli di attrazione. Tale processo permette la realizzazione di un magnete permanente mediante induzione: il magnetismo può venire facilmente indotto e cioè trasmesso in una barra grazie alla influenza di un secondo magnete.

I magneti o calamite artificiali possono essere classificati come *permanenti* o *temporanei*, a seconda che abbiano o meno la possibilità di mantenere l'energia magnetica anche dopo la cessazione della forza originale

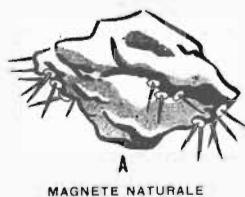



Fig. 1A - Frammento di materiale costituente un magnete naturale.

Fig. 2A - Magnetizzazione dell'acciaio mediante un campo elettromagnetico.

(a) - Barre non magnetizzate

B

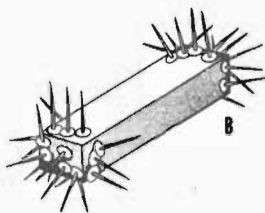



Fig. 1B - Magnete artificiale in acciaio, nichel o lega.

Fig. 2B - Sistema di magnetizzazione per contatto con un altro magnete.

N S

(b) - Barre magnetizzate

Fig. 3 - Le molecole di una sostanza magnetica, non magnetizzata, sono altrettanti magneti orientati a caso. In seguito alla magnetizzazione essi si orientano tutti nel medesimo senso, per cui i rispettivi campi si sommano e, integrandosi, determinano la forza totale disponibile.

che l'ha prodotta. L'acciaio temperato ed alcune leghe sono relativamente difficili da magnetizzare e vengono dette « a bassa permeabilità » in quanto le linee magnetiche di forza non si propagano facilmente in essi — in altre parole — non si distribuiscono rapidamente attraverso il materiale. Tuttavia, una volta magnetizzato, il materiale a bassa permeabilità conserva la maggior parte dell'energia magnetica acquisita, e costituisce perciò un magnete permanente. I magneti permanenti vengono usati ampiamente, come abbiamo già detto, in varie applicazioni nel campo dell'elettronica.

In modo analogo, ma contrario, tutti i materiali che si prestano facilmente alla magnetizzazione, come ad esempio il ferro dolce e l'acciaio al silicio ricotto, vengono detti « ad alta permeabilità ». Essi mantengono soltanto una piccola parte dell'energia magnetica non appena è cessata la forza che l'ha indotta, per cui vengono denominati magneti temporanei. L'acciaio al silicio ed altri materiali affini vengono impiegati per la costruzione dei trasformatori, nei casi cioè in cui l'energia magnetica varia continuamente, come pure nei generatori e nei motori nei quali la forza dei campi magnetici può essere variata rapidamente.

Il magnetismo che rimane in un magnete temporaneo in seguito alla rimozione dell'energia magnetizzante viene detto « magnetismo residuo », ed il fatto che una piccola quantità rimanga acquista un ruolo molto importante in quanto permette di creare — come vedremo — delle tensioni in generatori di corrente cosiddetti auto-eccitati.

NATURA del MAGNETISMO

Secondo una teoria — detta **teoria di Weber** sulla natura del magnetismo — si suppone che ogni molecola del magnete sia in sè stessa un piccolo magnete; tutte le molecole che costituiscono una barra non magnetizzata sono disposte a caso, come è illustrato nella sezione **A** della **figura 3.**

In tale condizione l'energia magnetica sviluppata da ognuna di esse viene neutralizzata da quella sviluppata nelle molecole adiacenti; per questo motivo, esternamente non si produce alcun effetto magnetico. Ma, allorchè a tale barra viene applicata una forza magnetizzate, le molecole si allineano in modo che tutti i poli Nord si dirigono nella medesima direzione, e tutti i poli Sud in direzione opposta; vedi sezione **B** della figura.

Se una barra magnetica viene spezzata in diverse parti, come è illustrato alla **figura 4,** ognuna di esse diventa un magnete completo, i cui poli hanno la medesima direzione dei poli originali: se ognuna di queste parti viene ulteriormente divisa, si formano altrettanti piccoli magneti la cui polarità mantiene sempre il medesimo orientamento. Se tale suddivisione potesse essere continuata all'infinito, si otterrebbero parti sempre più piccole ognuna delle quali avrebbe le caratteristiche di un magnete, fino a raggiungere le dimensioni di una molecola: è quindi logico supporre che ognuna di esse sia un magnete.

Un'ulteriore giustificazione di tale presupposto risulta dal fatto che, quando una barra magnetica viene mantenuta in una direzione diversa da quella del campo magnetico terrestre e viene ripetutamente battuta, riscaldata o esposta ad un potente campo magnetico applicato e tolto a rapidi intervalli, l'allineamento molecolare viene distrutto, ed il magnete si smagnetizza. Ad esempio, gli strumenti elettrici di misura perdono la loro precisione se i magneti permanenti in essi contenuti perdono una parte del loro magnetismo a causa di urti violenti o di una eventuale esposizione ad un campo magnetico opposto.

Una delle teorie sul magnetismo forse più adeguata ancora di quella molecolare, è la cosiddetta **teoria del « dominio »,** la quale viene espressa come segue.

In una sostanza magnetica i magneti « atomici » prodotti dal movimento planetario rotatorio degli elettroni intorno al nucleo hanno una notevole tendenza ad allinearsi in gruppi di 10^{14} a 10^{15} atomi pur senza l'influenza di un campo magnetico esterno. Tali gruppi di atomi, i cui poli sono orientati nella medesima direzione, vengono chiamati « dominî ». In ogni « dominio » si produce pertanto un intenso campo magnetico. Detti campi hanno normalmente un orientamento casuale per cui non si verificano effetti magnetici esterni finchè la sostanza è un tutto smagnetizzato. Poichè ogni piccolo dominio (10^6 di essi possono essere contenuti in un millimetro cubo) ha sempre il massimo grado di magnetizzazione, l'aggiunta di un campo magnetico esterno non può aumentarne la magnetizzazione intrinseca.

Tuttavia, se al materiale si applica un campo magnetico esterno che aumenta progressivamente, i dominî si allineano uno per uno (o a gruppi) col campo esterno.

La **figura 5** riproduce graficamente l'andamento (normale curva) di magnetizzazione nei confronti della forza

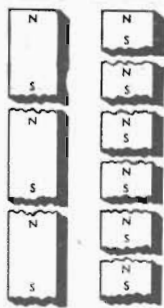



Fig. 4 - Dividendo una barra magnetica si hanno magneti più corti, a polarità alterne.

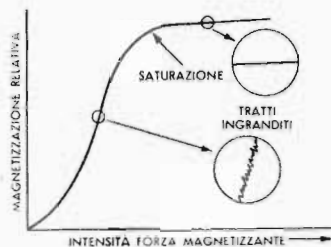



Fig. 5 - Curva di magnetizzazione di un magnete artificiale, in funzione della forza magnetizzante. Oltre un certo valore non si ha più aumento della intensità magnetica.

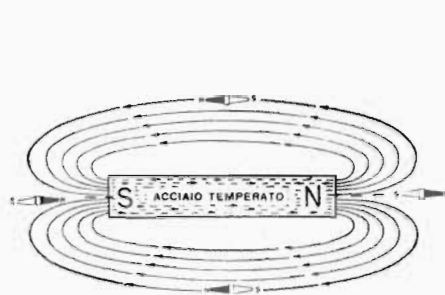



Fig. 6A - Mediante una bussola è possibile determinare la polarità di un magnete: il polo Nord dell'ago è sempre rivolto verso il polo Sud del magnete.

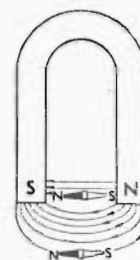



Fig. 6B - Distribuzione delle « linee di forza » in un magnete a ferro di cavallo; con una bussola si possono determinare le polarità.

del campo magnetico applicato: se il campo magnetico viene aumentato di piccolissime quantità e l'aumento di magnetizzazione corrispondente viene osservato in dettaglio, si può notare che la curva è molto irregolare fino al punto di saturazione. Il motivo di tale irregolarità è dovuto al fatto che i dominî si allineano soltanto in seguito alla applicazione di una forza magnetizzante apprezzabile, per cui si verifica una serie di aumenti di magnetizzazione improvvisi, man mano che i vari dominî, o i loro vari gruppi, subiscono l'influenza della forza esterna raggiungente il dovuto grado di intensità.

In altre parole, con l'aumentare della forza magnetizzante in maniera graduale, si può verificare un intervallo nel quale non esiste un apprezzabile aumento di magnetizzazione, dopo di che quest'ultima aumenta però rapidamente in quanto un maggior numero di dominî viene ad allinearsi. Tali aumenti improvvisi ed irregolari continuano fino al punto di saturazione, ossia fino al punto in cui tutti i dominî risultano allineati nella direzione della forza esterna.

CAMPI MAGNETICI e LINEE di FORZA

Se una barra magnetica viene immersa nella limatura di ferro, gran parte di quest'ultima viene attratta dalle estremità del magnete stesso, mentre nessuna particella viene attratta dal centro: come abbiamo già accennato precedentemente, tali estremità, ove l'attrazione è massima, vengono denominati « poli ».

Mediante l'uso di una bussola è possibile osservare la direzione della forza magnetica nei vari punti in prossimità del magnete in quanto lo stesso ago della bussola in questione è un magnete. Il suo polo Nord si metterà sempre in direzione del polo Sud, S, come è illustrato dalla sezione **A** della **figura 6**, per cui si ottiene una indicazione esatta della direzione nei confronti della polarità del magnete.

Quando la bussola si trova al centro della barra, l'ago assume una posizione parallela alla barra stessa: mentre, se viene posta successivamente in punti diversi, l'ago si allinea col campo magnetico della barra corrispondente ad ogni posizione. La direzione del campo è indicata dalle frecce e rappresenta la direzione nella quale punterà l'ago non appena la bussola entrerà nel campo magnetico. Le linee lungo le quali detto ago si dispone vengono denominate **linee magnetiche di forza**, le quali, come abbiamo detto precedentemente, si presume siano emanate dal polo Nord dopo di che ritornano al punto di origine passando attraverso lo spazio circostante e quindi rientrano nel magnete dal polo Sud. La sezione **B** della **figura 6** illustra la distribuzione delle linee di forza di un magnete foggiato nella classica forma a ferro di cavallo.

Lo spazio che circonda un magnete e nel quale agiscono le linee di forza magnetiche si chiama, come sappiamo, « campo magnetico »; Michele Faraday fu il primo scienziato che ne rese l'idea descrivendolo come un campo in stato di tensione costituito da linee di forza uniformemente distribuite. Il complesso di dette linee costituisce il flusso magnetico che può essere paragonato alla corrente in un circuito elettrico.

Il numero delle linee di forza in funzione dell'unità di superficie viene denominato **densità di flusso** e viene misurato in linee per centimetro quadrato mediante la seguente formula:

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

nella quale B è la densità di flusso, Φ (lettera greca: fi) è il numero totale delle linee di flusso ed A è la sezione trasversale del circuito magnetico. Se A è espressa in cm^2, B è espressa in *linee per* cm^2 ossia in **gauss**.

Nei testi moderni ricorre spesso sia il termine « flusso » che il termine « passaggio di energia magnetica », tuttavia non si ritiene che il magnetismo sia una corrente di particelle in movimento, bensì un semplice campo di energia esteso nello spazio. Il numero di linee di forza per unità di superficie può essere misurato facendo ruotare una piccola spira di filo ad una velocità costante in presenza di un circuito magnetico, in modo tale che detta spira tagli le linee di forza che costituiscono il campo: in questo caso si genera nel filo della spira una tensione proporzionale alla densità del flusso magnetico tagliato.

E' possibile ottenere una rappresentazione ottica del campo magnetico appoggiando su una calamita una lastra di vetro sulla quale si distribuisce poi della limatura di ferro. Essa si sistema lungo linee visibili tra i poli, che dimostrano la via seguita dal campo magnetico intorno al magnete stesso, come è illustrato alla **figura 7**.

Il campo magnetico che circonda un magnete di forma simmetrica ha le seguenti proprietà:

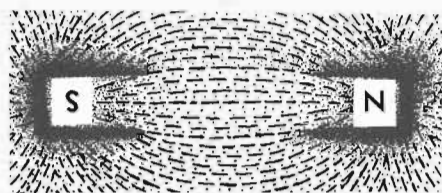



Fig. 7 - Controllo della distribuzione delle linee di forza di un magnete, effettuato mediante una lastra di vetro — posta sopra il magnete stesso — sulla quale è stata depositata della limatura di ferro che si orienta secondo il disegno riprodotto.

Fig. 8 - Dimostrazione dell'attrazione dei poli opposti, e della repulsione dei poli analoghi, mediante un magnete permanente fisso ed uno libero di ruotare intorno ad un asse.

1 - il campo è simmetrico, a meno che non venga deformato da un'altra sostanza magnetica.

2 - le linee di forza hanno una loro direzione, tale che esse escono dal polo Nord ed entrano nel polo Sud.

3 - l'ago di una bussola posta in qualsiasi punto nel campo magnetico subisce sempre una deflessione tale che il terminale Nord punta costantemente nella direzione delle linee di forza (cioè verso il polo Sud).

4 - la maggiore intensità del campo si verifica in prossimità delle superfici dei poli, e diminuisce con l'aumentare della distanza dagli stessi.

LEGGI di ATTRAZIONE e di REPULSIONE

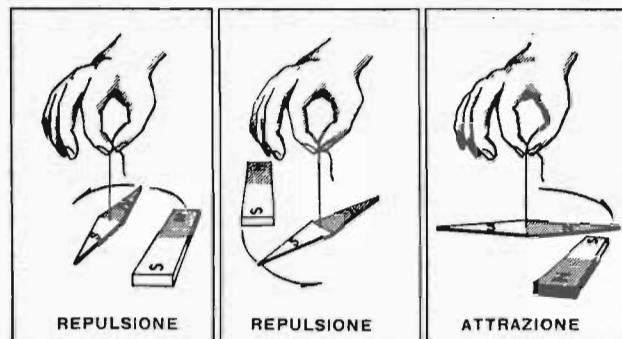
Se un ago magnetizzato viene sospeso in prossimità di una barra magnetica, come si vede nella **figura 8,** si nota che il polo Nord viene respinto dal polo Nord del magnete, ed analogamente tale repulsione si verifica tra i rispettivi poli Sud: tuttavia, i poli opposti si attraggono reciprocamente, dal che è facile dedurre le prime due leggi di attrazione e di repulsione, ossia:

Prima Legge: *i poli magnetici analoghi si respingono a vicenda.*

Seconda Legge: *i poli magnetici opposti si attraggono a vicenda.*

La **figura 9** illustra la direzione del flusso nel caso di poli analoghi e di poli opposti adiacenti. Le linee non si incrociano tra loro in nessun punto e si comportano anzi in modo tale come se si respingessero a vicenda.

La **terza legge** dell'attrazione e della repulsione magnetica stabilisce in effetti che la forza di attrazione o di repulsione esistente tra due poli magnetici diminuisce rapidamente man mano che detti poli si allontanano tra loro. In realtà, *la forza di attrazione o di repulsione varia in maniera direttamente proporzionale al prodotto delle forze dei rispettivi poli ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di essi,* purchè detti poli siano abbastanza piccoli da poter essere considerati come dei punti.

Ad esempio, se la distanza tra due poli Nord viene aumentata da due a quattro centimetri, la forza di repulsione tra di essi diminuisce ad un quarto del valore originale. Se entrambe le intensità magnetiche vengono raddoppiate e la distanza rimane la medesima, la forza tra i poli viene raddoppiata.

CAMPO MAGNETICO INTORNO ai CONDUTTORI

Nel 1819 il fisico danese Hans Christian Oersted trovò che esiste una relazione definita tra il magnetismo e l'elettricità, e scoprì che una corrente elettrica è accompagnata da fenomeni magnetici i quali obbediscono a leggi definite.

Se si pone la bussola in prossimità di un conduttore percorso da corrente, l'ago si dispone ad angolo retto rispetto al conduttore, denunciando così la presenza di una forza magnetica. Tale presenza può essere constatata facendo passare una corrente elettrica attraverso un conduttore posto verticalmente e attraversante un pezzo di cartone orizzontale come è **illustrato alla figura 10.** L'intensità e la direzione della forza vengono determinate ponendo una bussola nei vari punti del pezzo di cartone, ed osservando la deflessione dell'indice. Si suppone che la direzione della forza sia corrispondente alla direzione del polo Nord dell'ago; le deflessioni dimostrano l'esistenza di un campo magnetico circolare intorno al conduttore. Quando la corrente scorre verso l'alto, la direzione del campo è in senso orario (osservando dall'alto) ma se si inverte la polarità della tensione in modo che la corrente scorra verso il basso, la direzione del campo è in senso antiorario.

La relazione tra la direzione delle linee magnetiche di forza intorno ad un conduttore e quella del passaggio di corrente attraverso quest'ultimo può essere determinata mediante una regola così detta *regola della mano sinistra per un conduttore.* Avvolgendo le dita della mano sinistra attorno al conduttore in modo che il pollice sia rivolto nella direzione del flusso della corrente (dal — verso il +) le altre dita risulteranno volte ad indicare la direzione delle linee di forza (vedi **figura 11-A**).

E' opportuno notare che dette linee circondano il cavo, ma non vi penetrano nè se ne allontanano in alcun punto, e che lungo il conduttore stesso non esistono poli magnetici.

Se il conduttore è avvolto in modo da formare una bobina, la corrente che lo percorre crea un notevole

B S N N S

I POLI ANALOGHI SI RESPINGONO

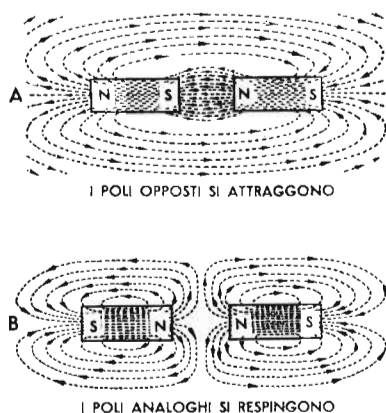



Fig. 9 - Direzione delle linee di forza di magneti adiacenti con **polarità opposta** (A) e con polarità analoga (B). Nel primo caso i due circuiti magnetici si integrano.

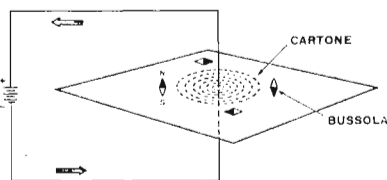
CARTONE

BUSSOLA

Fig. 10 - Mediante l'uso di una bussola è possibile constatare l'esistenza, e determinare la direzione, del campo magnetico creato da un conduttore percorso da corrente.

Fig. 11A - Determinazione della direzione delle linee di forza di un conduttore mediante la regola della mano sinistra.

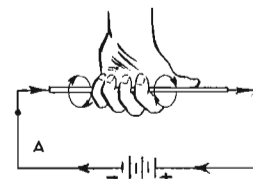
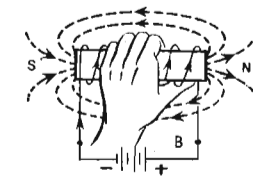



Fig. 11B - Determinazione della direzione delle linee di forza di un elettromagnete.

campo magnetico all'interno di quest'ultima. Inoltre se viene messo all'interno della bobina un corpo magnetico, come ad esempio l'acciaio, il campo magnetico stesso diventa ancora più intenso.

Un conduttore avvolto a spire, come sappiamo, prende il nome di **bobina, solenoide,** o **induttore.**

Le linee magnetiche del flusso circondano ogni singola spira dell'avvolgimento, esattamente come abbiamo visto si verifica nei riguardi di un conduttore diritto. Le linee di flusso circolari si uniscono al centro dell'induttore e producono l'intenso campo di cui si è detto (**figura 11-B**).

Nello spazio interposto in ogni coppia di spire adiacenti, esse hanno la medesima intensità ma opposte direzioni, per cui tendono ad annullarsi a vicenda, e poche linee, se non nessuna, escono dalla bobina tra le spire.

Come è illustrato dalla figura, le linee di forza della bobina passano attraverso il centro dell'indotto, escono da una estremità, e, attraverso un percorso esterno, raggiungono l'altra estremità.

Dette linee mostrano l'evidente formazione di due poli alle estremità, di cui un polo Nord nel punto in cui emergono, ed un polo Sud nel punto in cui entrano. La rispettiva polarità — nonchè la direzione delle linee — vengono determinate dalla direzione delle correnti e dal senso di avvolgimento del conduttore. Un metodo per determinare la polarità di un **solenoide** è il seguente: impugnare la bobina con la mano sinistra, in maniera che le dita si estendano nel senso del passaggio della corrente in ogni spira, in tal modo il pollice esteso indicherà la direzione del polo Nord.

Le leggi di attrazione e di repulsione dei poli di un solenoide sono identiche a quelle esistenti tra i poli dei magneti, o calamite.

EFFETTO del NUMERO delle SPIRE e della CORRENTE

L'intensità del campo (ossia l'ammontare del flusso che si addensa al centro di una bobina) nel caso illustrato alla **figura 12**, può essere aumentata, aumentando il numero delle spire della bobina, o aumentando la corrente che la percorre, o, infine, aumentando entrambi.

Detto flusso può anche essere aumentato usando come nucleo un materiale che permetta il passaggio del flusso stesso con maggiore facilità; l'effetto del nucleo ferromagnetico sulla intensità del campo verrà considerato in seguito.

Nel caso di una bobina con nucleo in aria il flusso è direttamente proporzionale alla corrente che la percorre ed al numero delle spire, ed il prodotto della corrente in ampère e di detto numero, è il cosiddetto **fattore ampère-spire** della bobina stessa. Supponiamo, ad esempio, che 1000 ampère-spire producano nell'aria l'intensità magnetica desiderata: tra le tante possibilità per raggiungere detto valore, saranno sufficienti ad esempio 50 spire percorse da una corrente di 20 ampère, oppure 500 spire percorse da 2 ampère, o ancora 1000 spire percorse da 1 ampère, e così via.

SCHERMAGGIO MAGNETICO

Non esistono isolanti veri e propri per il flusso magnetico. Se un materiale non magnetico viene immerso in un campo magnetico, il flusso non subisce variazioni apprezzabili, esso penetra cioè nel materiale stesso. Ad esempio, se inseriamo una lastra di vetro tra i poli di una calamita a ferro di cavallo, il campo magnetico non subisce alcuna variazione sebbene dal punto di vista elettrico il vetro sia un buon isolante. Se invece, si immerge nel campo un materiale magnetico, (come ad esempio, il ferro dolce), il flusso varia la sua direzione avvantaggiandosi della maggiore permeabilità del materiale inserito, come è illustrato nella **figura 13.** Con ogni probabilità in tal caso il flusso subirà sempre un incremento, mai, certamente, una diminuzione.

I dispositivi sensibili degli apparecchi elettrici e degli strumenti di misura che adottano per il loro funzionamento conduttori, bobine ecc. percorse dalla corrente, possono essere influenzati da campi magnetici estranei i quali possono causare perciò letture errate. Dal momento che non è possibile effettuare un isolamento protettivo, è necessario ricorrere a dei ripieghi per deviare i flussi esterni: si colloca ad esempio, attorno allo strumento, un involucro di ferro dolce, detto *schermo magnetico*. Poichè il flusso si espande nel ferro con maggiore rapidità ed intensità che non nell'aria contenuta all'interno di detto involucro, lo strumento può essere considerato come isolato dal flusso esterno: questo fenomeno è illustrato alla **figura 14** nella quale viene rappresentato un orologio racchiuso in uno schermo di ferro dolce e l'andamento di un flusso magnetico esterno.

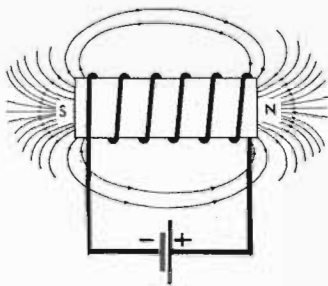



Fig. 12 - Aumentando il numero di spire di una bobina percorsa da corrente, aumentando la corrente, o introducendo un nucleo magnetico all'interno, si aumenta l'intensità del campo da essa prodotto.

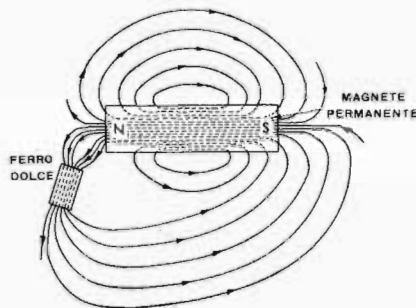



Fig. 13 - La presenza di un corpo di materiale magnetico (ferro dolce) in un campo magnetico, determina una deviazione delle linee di forza.

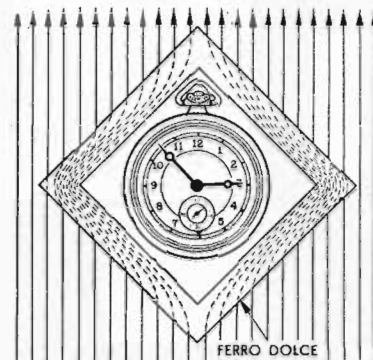



Fig. 14 - Per proteggere un oggetto dai campi magnetici si può racchiuderlo in un involucro di materiale magnetico, che assorbe e devia le linee di forza.

ANALOGIA con la LEGGE di OHM

La legge che governa la determinazione del flusso nei circuiti magnetici è analoga a quella, a noi nota, che governa il passaggio della corrente nei circuiti elettrici.

Il **flusso magnetico,** Φ, è paragonabile alla corrente nella legge di Ohm, e consiste nella quantità delle linee di forza del flusso presente nel circuito magnetico. **Il maxwell è l'unità di misura del flusso,** nel senso che una linea di forza equivale ad 1 maxwell: tuttavia, spesso tale unità viene definita come una linea di forza, o una linea induttiva, o, più semplicemente, una linea.

La forza magnetomotrice, F o *f.m.m.*, paragonabile alla forza elettromotrice nella legge di Ohm, è la forza che determina la presenza delle linee di flusso. La sua unità di misura è l'ampère-spira.

La **riluttanza** R, paragonabile alla resistenza nella legge di Ohm, *è l'opposizione offerta al flusso da parte del circuito magnetico.* L'unità di misura della riluttanza non è ancora stata espressa ufficialmente; tuttavia è stato proposto il **rel** (rappresentato dalla lettera R), *indicante la riluttanza offerta da un centimetro cubo d'aria.*

La riluttanza di una sostanza magnetica varia in proporzione diretta con la lunghezza del circuito magnetico, ed inversa nei confronti della sezione trasversale e della permeabilità μ della sostanza stessa, il che viene espresso dalla formula

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

nella quale l è la lunghezza in centimetri, ed A l'area della sezione in centimetri quadrati (cm^2).

Un'altra unità della forza magnetomotrice spesso usata è il **gilbert,** rappresentato dalla lettera F. *Il gilbert è la forza necessaria per determinare 1 maxwell in un circuito magnetico avente una unità di riluttanza, ossia 1 rel.* La forza magnetomotrice in gilbert può essere espressa in funzione del fattore ampère-spira, come segue

$$F = 1{,}257\ IN$$

nella quale F è in gilbert, I in ampère, ed N è il numero di spire avvolte intorno al circuito magnetico.

L'unità di intensità della forza magnetizzante per unità di lunghezza è espressa mediante la lettera H, ed a volte viene intesa in gilbert per centimetro, il che può essere espresso dalla formula

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$$

nella quale l è la lunghezza in centimetri.

La **permeabilità** viene rappresentata dalla lettera greca μ (Mu), e di essa ci occuperemo più dettagliatamente in seguito; tuttavia, è opportuno darne già una definizione allo scopo di facilitare al lettore il compito di comprendere meglio la legge che segue (legge di Rowland) e le sue applicazioni pratiche.

La permeabilità è dunque *la misura dell'attitudine da parte di una sostanza a condurre,* ossia ad ospitare, *le linee di forza,* in riferimento all'attitudine a far ciò presentata dall'aria. La permeabilità dell'aria è perciò considerata pari ad 1.

La permeabilità viene espressa come il rapporto tra la densità di flusso in linee per cm^2 (gauss, ossia B) e l'intensità della forza magnetizzante in gilbert per centimetro di lunghezza, indicata da H. Ciò è espresso dalla formula

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Secondo la legge di Ohm, la corrente è direttamente proporzionale alla tensione applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza offerta dal circuito. Ciò, come è noto, è espresso dalla formula

$$I = \frac{E}{R}$$

La **legge di Rowland** per i circuiti magnetici stabilisce analogamente che *il numero delle linee di flusso magnetico, in maxwell,* Φ, *è direttamente proporzionale alla forza magnetomotrice, in gilbert* (F) *ed inversamente proporzionale alla riluttanza,* R, *offerta dal circuito.*

Esprimendo quanto sopra con formula si ha:

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

L'analogia tra la legge di Ohm e la legge di Rowland è evidente.

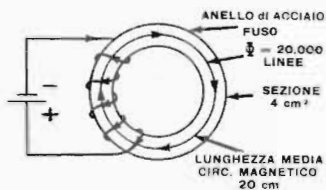



Fig. 15 - Determinazione (vedi testo) degli ampère-spire necessari per produrre un flusso di 20.000 linee di forza in un circuito magnetico dalle caratteristiche riportate.

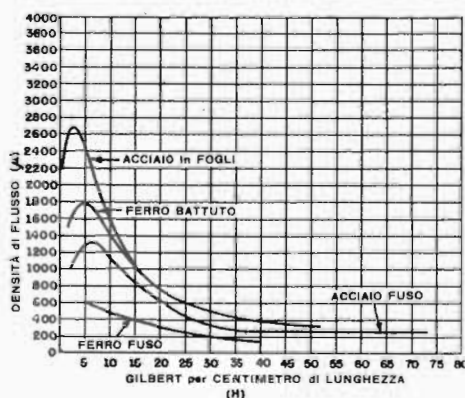



Fig. 16 - Curve di permeabilità di diversi materiali magnetici.

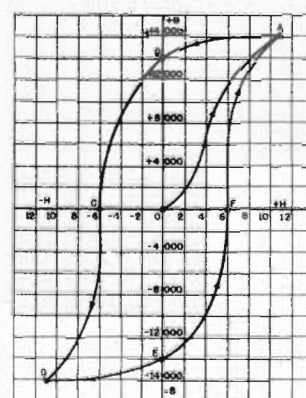



Fig. 17 - Esempio di « ciclo di isteresi » di un materiale magnetico.

Un altro termine usato per i circuiti magnetici è la **permeanza**. Viene indicata dalla lettera *P*, ed è l'inverso della riluttanza, ossia

$$P = \frac{1}{R}$$

Una tabella, nella lezione di appendice del presente fascicolo (lezione 15ª) dà i valori di *B*, di *H* e di μ per le più comuni sostanze magnetiche.

La permeanza è paragonabile alla conduttanza nei circuiti elettrici, ed è definita come *la caratteristica dei circuiti magnetici che permette alle linee di forza di percorrerli.*

Nella lezione di appendice è riportata una tabella di confronto delle unità, dei simboli e delle equazioni impiegate nell'applicazione della legge di Ohm ai circuiti elettrici, e della legge di Rowland ai circuiti magnetici.

Diamo ora un esempio pratico di quest'ultima. Supponiamo che si debbano calcolare gli ampère-spire necessari per produrre 20.000 linee di forza in un anello di acciaio fuso avente una sezione trasversale di 4 centimetri quadrati, ed una lunghezza media di 20 centimetri. Vedi **figura 15.**

La densità di flusso *B* viene calcolata mediante la formula

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{20.000}{4} = 5.000 \text{ linee/cm}^2$$

e, dall'apposita tabella, ricaviamo che il valore di *H* per l'acciaio fuso è pari a 3,9. La formula che permette di calcolare *H* è, come abbiamo visto

$$H = \frac{1,257\ IN}{l}$$

dalla quale si ricava

$$IN = \frac{Hl}{1,257}$$

sostituendo ad H il valore 3,9 e ad *l* il numero 20, si ha

$$IN = \frac{3,9 \times 20}{1,257} = 62 \text{ ampère/spire}$$

PROPRIETA' dei MATERIALI MAGNETICI

Se al posto dell'acciaio fuso si usano delle lamine di acciaio ricotto, si ottiene una magnetizzazione più intensa in quanto la permeabilità è maggiore grazie alla maggiore facilità di propagazione delle linee di forza.

Il rapporto tra il flusso prodotto da una bobina su un nucleo di ferro (o altra sostanza) e quello prodotto dalla medesima bobina — mantenendo costante la corrente — quando il nucleo è solo aria, costituisce la **permeabilità** del ferro o di quella sostanza. Essa è dunque la misura della attitudine da parte di una sostanza a condurre le linee di forza magnetica, ossia è la misura della conduttività magnetica di quella sostanza.

Si è detto che la permeabilità dell'aria è 1; si può affermare che tale è anche il valore di permeabilità delle sostanze non magnetiche, come ad esempio il legno, l'alluminio, il rame, l'ottone, ecc.

La permeabilità dei materiali magnetici varia col variare del grado di magnetizzazione, ed è minima per alti valori di intensità di flusso, (vedi tabelle nella già citata lezione d'appendice e **figura 16**).

L'ISTERESI

Per ben comprendere il concetto di **isteresi** si osservi la **figura 17**, che rappresenta appunto un ciclo o comportamento di isteresi relativo ad un materiale qualsiasi. In essa la forza magnetizzante è indicata il gilbert per cm di lunghezza lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse *H*, mentre la densità di flusso è rappresentata in gauss lungo le direzioni positiva e negativa dell'asse *B*.

L'intensità *H* della forza magnetizzante — applicata mediante una bobina percorsa da corrente intorno al materiale in esame — viene variata uniformemente durante un ciclo di funzionamento dopo essere partita da zero: in altre parole, la forza magnetizzante viene aumentata in senso positivo (per una data direzione di flusso della corrente nella bobina), fino ad un massimo di 11 gilbert/cm. Durante tale tempo, la densità di flusso, *B*, sale da zero a 14.000 nel punto *A*.

Se *H* viene fatta ritornare progressivamente a zero, la curva della densità di flusso non ritorna al medesimo valore seguendo cioè in discesa il medesimo percorso segnato per la salita, bensì raggiunge il punto *B* corrispondente alla densità di 13.000. Il flusso magnetico

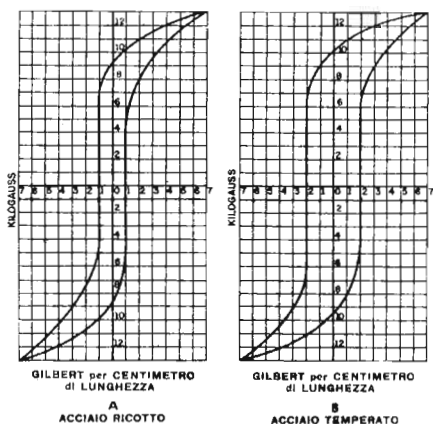



Fig. 18 - Confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto e dell'acciaio temperato.

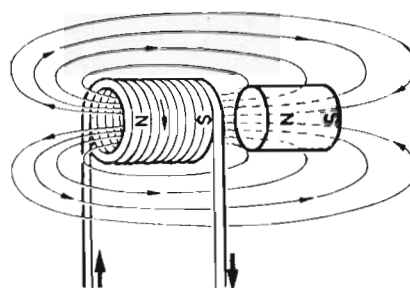



Fig. 19 - Un corpo di materiale magnetico si magnetizza, per le linee di forza di un campo adiacente, con polarità opposta a quella del campo stesso, per cui viene attratto.

indicato dalla lunghezza della linea *OB* rappresenta l'inerzia della sostanza magnetica.

Tale retenzione o coercibilità è dovuta all'attitudine del materiale stesso a conservare una certa magnetizzazione una volta cessata la causa che l'ha prodotta; è massima nell'acciaio temperato e minima nel ferro dolce.

Il valore del magnetismo residuo quando *H* è stata ridotta a zero, dipende dalla sostanza in questione e dalla densità di flusso raggiunta. Nel nostro caso, il magnetismo residuo ammonta a 13.000 gauss.

Se ora facciamo passare attraverso la bobina una corrente in senso opposto a quello prima adottato, in modo tale cioè che l'intensità della forza magnetizzante raggiunga il valore di - *H*, si vedrà che detta forza deve raggiungere il valore corrispondente al punto *C* prima che il magnetismo residuo si riduca a zero. La quantità di forza magnetizzante necessaria per ridurre a zero il magnetismo residuo, individuata dal tratto *OC* della curva, costituisce la **forza coercitiva**. Nel nostro caso, essa ammonta a 6 gilbert per cm.

Se in seguito, tale forza viene aumentata a - 11 gilbert per cm, la curva scende da *C* a *D*, magnetizzando il materiale con polarità opposta alla precedente. Se la forza magnetizzante viene poi riportata nuovamente a zero, la densità di flusso raggiunge il punto *E*. Il flusso magnetico rappresentato dal tratto *OE* indica ancora l'inerzia del materiale così come era indicato dal tratto *OB*; il magnetismo residuo ammonta nuovamente a 13.000 gauss.

Il ciclo si ripete se la corrente viene nuovamente invertita, per cui la magnetizzazione segue nel suo ciclo quella della corrente che la produce, ma — come risulta dall'analisi testè compiuta — con un certo ritardo causato dall'attrito tra le molecole.

Se l'inversione della magnetizzazione è lenta, la perdita di energia può essere trascurabile, mentre se essa avviene rapidamente, (caso della corrente che inverte rapidamente la sua polarità, detta corrente alternata), può verificarsi la perdita di una considerevole quantità di energia, specie nel caso dell'acciaio temperato. Un altro fattore che determina le perdite per isteresi è la densità massima di flusso che viene stabilita nel materiale magnetico in questione.

La **figura 18** illustra un confronto tra le curve di isteresi dell'acciaio ricotto e dell'acciaio temperato. L'area compresa da ognuna di esse costituisce la misura di energia dispersa per ogni ciclo di operazione, dal che si nota che nell'acciaio temperato l'attrito tra le molecole costituisce una perdita maggiore. E' quindi importante che nei trasformatori e negli altri dispositivi analoghi si usi un materiale con basse perdite per isteresi.

ELETTROMAGNETI

Per elettromagnete si intende un nucleo di ferro dolce intorno al quale è avvolta una bobina: quando quest'ultima viene percorsa da corrente continua, come abbiamo già visto, il nucleo si magnetizza con la medesima polarità che avrebbe il campo magnetico in assenza del nucleo, e, se la corrente inverte la sua direzione, si inverte anche il campo magnetico. L'aggiunta del nucleo all'interno di una bobina compie due funzioni: innanzitutto il flusso diventa più intenso grazie alla maggiore permeabilità rispetto a quella dell'aria, ed in secondo luogo detto flusso è enormemente concentrato.

Il flusso che si sviluppa internamente alla bobina esercita la sua influenza sulle molecole del nucleo e quindi sui « dominï », a noi ormai noti, costringendoli ad allinearsi. Tale fenomeno si verifica in egual maniera se il nucleo viene avvicinato al campo di un altro magnete invece di essere influenzato da una bobina.

Nel caso del ferro dolce, non appena la corrente magnetizzante cessa, la maggior parte dei magneti atomici torna a disporsi con un orientamento miscellaneo, per cui si smagnetizza, mentre, nel caso dell'acciaio temperato, la maggior parte di essi conserva l'orientamento acquisito in seguito alla magnetizzazione, e per questo fatto il materiale diventa un magnete permanente. Negli elettromagneti si usa o il ferro dolce o altri materiali aventi un'alta permeabilità ed una bassa inerzia. Si è constatato sperimentalmente che un pezzo di ferro dolce viene attratto con egual forza da entrambi i poli di una calamita, e che — analogamente — tale attrazione viene esercitata anche da parte di una bobina percorsa da corrente, se entrambi sono orientati come illustrato dalla **figura 19.** Come si nota da tale figura, le linee di forza si estendono nel ferro dolce e lo magnetizzano per induzione, e, dal momento che i poli opposti si attraggono, il nucleo viene attirato all'interno della bobina: ne consegue che, se detto nucleo è libero di muoversi, esso tende a portarsi al centro della bobina stessa.

SISTEMI di PRODUZIONE della CORRENTE

Alla lezione 8ª abbiamo esposto dettagliatamente il sistema di produzione della corrente elettrica che si basa sull'effetto chimico: abbiamo visto fenomeni, norme e tecnica riguardanti le pile e gli accumulatori e si è rilevato come, nel campo elettronico, a questo sistema si ricorra tuttora assai spesso e anzi, si stia verificando verso di esso, — in seguito alla comparsa dei transistori — un certo aumento di interesse.

Sull'argomento degli accumulatori diamo, come abbiamo promesso, ancora qualche cenno circa i diversi tipi di carica. Successivamente — in questa lezione — prenderemo in esame gli altri sistemi di produzione dell'elettricità, quelli cioè basati su effetti diversi dall'effetto chimico.

TIPI di CARICA delle BATTERIE

A seconda delle sue condizioni, una batteria può essere caricata con uno dei seguenti tipi di carica: (1) iniziale, (2) normale, (3) di equalizzazione, (4) intermittente e (5) di emergenza.

Carica iniziale. Le piastre di una batteria che sia stata fornita priva di elettrolita sono in condizioni di scarica completa, e, dopo l'aggiunta del liquido, è necessario portarle nelle condizioni di carica, il che è ottenuto dando loro una carica iniziale lunga ed a bassa portata. Tale carica viene data in conformità alle istruzioni fornite dal fabbricante che, generalmente, accompagnano la batteria.

Carica normale. Essa consiste nell'abituale procedimento di carica, durante il ciclo normale di funzionamento, allo scopo di ripristinare le condizioni. Procedura:

1 - determinare la portata di inizio e di fine dai dati generali, e, in mancanza di questi riferirsi ad apposite tabelle.

2 - Se necessario, aggiungere acqua ad ogni cellula.

3 - Collegare la batteria al pannello di ricarica; assicurarsi della giusta polarità, controllare che i collegamenti siano puliti e ben stretti.

4 - Inserire il circuito di ricarica e regolare la corrente al valore appropriato di *inizio* carica.

5 - Controllare temperatura e peso specifico ogni ora.

6 - Non appena c'è ebollizione apprezzabile, ridurre la corrente di carica al valore *finale*.

La carica normale si intende completa quando il peso specifico, opportunamente corretto in base alla temperatura, ha uno scarto massimo di 5 punti (0,005) da quello ottenuto con la precedente carica di equalizzazione.

Carica di equalizzazione. Consiste in una estensione della carica normale alla portata di fine carica, e viene effettuata periodicamente per assicurare che tutto il solfato di piombo venga asportato dalle piastre, e che il peso specifico venga portato al suo massimo valore in tutte le cellule. Tale carica viene protratta finchè il peso specifico dell'elettrolita di ogni cellula, opportunamente corretto nella lettura in base alla temperatura, non subisce variazioni per un periodo di 4 ore: il controllo viene effettuato ogni 30 minuti.

Carica intermittente. E' possibile conservare una batteria nello stato di carica completa collegandola ai capi di una fonte di energia la cui tensione sia mantenuta entro i limiti variabili da 2,13 a 2,17 volt per ogni cellula; il rapporto di carica viene determinato in base alla tensione della batteria anzichè ad un certo valore di corrente. La tensione viene mantenuta ad un valore il più possibile prossimo a 2,15 volt per cellula.

Questa è la sistemazione nota anche col nome di « batteria tampone ».

Carica di emergenza. Viene adottata quando è necessario ricaricare la batteria nel minor tempo possibile, e viene effettuata ad una portata molto più alta di quella normale. E' di impiego piuttosto raro perchè dannosa per la durata della batteria stessa.

ELETTRICITA' per EFFETTO MAGNETO-MECCANICO

La dinamo

Poichè al pari del sistema chimico, quello magneto-meccanico riveste grande importanza, ci dilungheremo maggiormente nei suoi riguardi. Gli altri sistemi risultano attualmente di minore e meno pratico sfruttamento: ad ogni modo, allorchè li incontreremo applicati nella elettronica, avremo modo di analizzarli meglio, con maggiore e particolare riguardo al caso specifico nei suoi dati e nei suoi fenomeni.

I circuiti elettrici che richiedono per il loro funzionamento una quantità di energia maggiore di quella che può essere fornita dalle normali batterie, vengono alimentati mediante energia ricavata da macchine elettriche rotanti dette « generatori ». Così avviene infatti per gli impianti di illuminazione, per i motori di notevole potenza, per le stufe elettriche ecc. che richiedono —

Fig. 1 - Principio fondamentale del generatore di corrente continua. La corrente viene prodotta a causa della rotazione di una spira del conduttore in un campo magnetico, e prelevata mediante due spazzole in contatto alternativo con i due capi della spira.

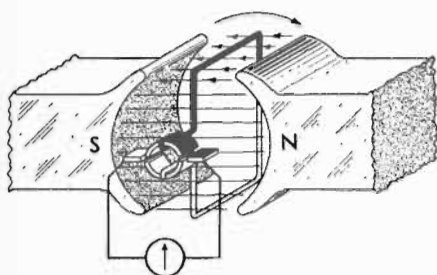
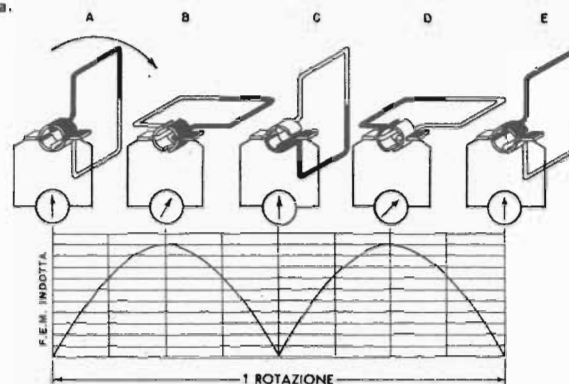



Fig. 2 - Andamento della tensione prodotta dal generatore. Ogni ondulazione corrisponde alla rotazione di 180° della spira.

come è noto — una quantità di energia di gran lunga superiore a quella ottenibile mediante l'uso di batterie di produzione commerciale.

Le citate macchine rotanti o generatori, possono fornire quantità di energia che vanno da modesti limiti a diverse migliaia di chilowatt di potenza.

Un generatore di corrente è in effetti una macchina rotante che converte l'energia meccanica in energia elettrica. Tale conversione viene ottenuta mediante la rotazione di una armatura munita di conduttori in un campo magnetico che induce una f.e.m. nei conduttori dell'armatura stessa: affinchè ciò sia possibile è indispensabile un movimento del conduttore rispetto al campo magnetico o viceversa; in seguito a tale movimento il conduttore taglia le linee di forza del campo magnetico stesso.

Nella maggior parte dei generatori di corrente l'armatura costituisce la parte rotante detta **rotore**, mentre la sorgente del campo magnetico costituisce la parte stabile o fissa, detta **statore.** L'albero — o asse del rotore — è soggetto ad una forza esterna che ne determina la rotazione, e, non appena la rotazione ha inizio, l'energia motrice determina una differenza di potenziale ai capi dell'avvolgimento presente nel rotore, ossia una tensione utilizzabile per alimentare un circuito esterno.

L'energia meccanica deve essere applicata costantemente all'albero del generatore finchè si desidera che quest'ultimo eroghi una determinata quantità di energia.

La potenza necessaria alla rotazione del rotore viene prelevata da una sorgente detta primaria, la quale può essere costituita da una turbina, da un motore a nafta o Diesel, oppure a benzina, o da una macchina a vapore, e — nei mezzi di locomozione semoventi — può essere prelevata mediante ingranaggi dal motore del moto, come avviene nel caso dell'automobile, della nave, o dell'aeroplano.

La produzione della f.e.m. ha luogo, come si è detto, dal movimento relativo del conduttore rispetto al campo magnetico: la quantità dell'energia indotta dipende da tre fattori:

1) intensità del campo magnetico.
2) lunghezza del conduttore, ossia il numero delle spire ed il diametro del conduttore allorché esso è avvolto sotto forma di bobina.
3) velocità con la quale detto conduttore taglia il campo magnetico, ossia la velocità con cui il rotore ruota nel campo.

Tutte le caratteristiche costruttive nel progetto di un generatore devono essere tali da bilanciare le relazioni che intercorrono tra questi tre fattori.

GENERATORI di C.C.

Pincipio di funzionamento

La **figura 1** illustra il principio di funzionamento di un generatore di c. c. Una spira di filo conduttore viene fatta ruotare nel campo magnetico costituito dalle due espansioni polari contrassegnate S ed N (ossia Sud e Nord), nel senso indicato dalla freccia. La parte della spira segnata in neretto è collegata al segmento semicilindrico nero, mentre la parte segnata a tratto doppio è collegata al segmento semicilindrico bianco. Tali segmenti sono isolati tra loro; essi costituiscono un commutatore che reca su due lati opposti due spazzole di contatto fisse, ognuna delle quali viene a trovarsi successivamente in contatto con i segmenti semicircolari, man mano che la spira ruota intorno al proprio asse.

La parte rotante del generatore di c.c. si chiama **armatura**, e la produzione di c.c. avviene nel modo seguente:

1) nella posizione A della **figura 2**, la spira ruota in senso orario, e nessuna linea di forza viene da essa tagliata, per cui non si ha alcuna f.e.m. indotta.
Si noti che entrambi i segmenti semicilindrici stanno iniziando il contatto con le spazzole del rispettivo colore, ma restano tuttavia, in tale momento, anche in contatto con il segmento di colore opposto.
2) nella posizione B le linee di flusso vengono tagliate perpendicolarmente, per cui la f.e.m indotta raggiunge l'ampiezza massima. Entrambe le spazzole sono in contatto con i segmenti aventi rispettivamente il medesimo colore; l'indice dello strumento che denota il passaggio di corrente si sposta verso destra indicando la polarità della tensione di uscita.
3) nella posizione C, la spira ha completata una rotazione di 180°. In questa posizione la spira non taglia alcuna linea di forza: la f.e.m. indotta è nulla.

E' importante notare, nella posizione C, il comportamento reciproco delle spazzole e dei segmenti, in quanto, con una rotazione di 180°, la spazzola si trova nuovamente tra il segmento bianco e quello nero — a contatto

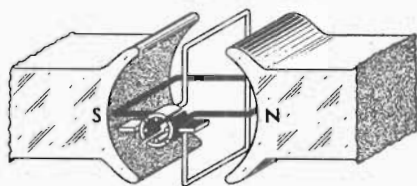



Fig. 3 - Installando due spire tra loro perpendicolari in luogo di una sola, si determinano per ogni rotazione completa quattro impulsi di corrente.

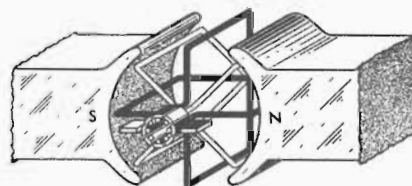
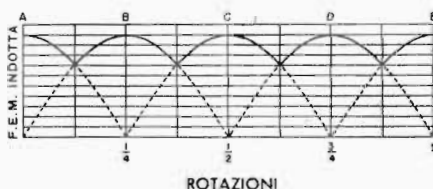
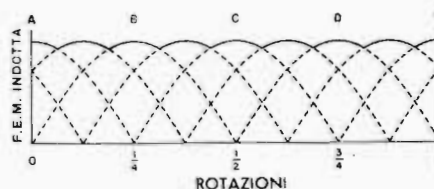



Fig. 4 - Aumentando ulteriormente il numero delle spire distribuite su vari piani passanti per l'asse, la tensione prodotta, e quindi la corrente, tende a diventare pressochè continua, ossia a perdere la forma di ondulazioni.

cioè con entrambi — esattamente come la spazzola bianca posta sul lato diametralmente opposto; non appena il rotore ha superato leggermente i 180° di rotazione, la spazzola nera resta a contatto col semicilindro bianco, e quella bianca solo col semicilindro nero.

Grazie all'azione di commutazione determinata dallo spostamento relativo dei segmenti rispetto alle spazzole, quella nera è sempre in contatto con la parte della spira rotante che si muove dall'alto verso il basso, mentre la spazzola bianca è sempre in contatto diretto con la parte che si muove dal basso verso l'alto. Sebbene, in effetti, la corrente inverta la sua direzione nella spira, l'effetto del commutatore rotante fa in modo che la corrente scorra nel circuito esterno — ossia in questo caso, nello strumento — sempre nella medesima direzione.

Il grafico riportato alla figura 2 illustra l'andamento della tensione erogata dal generatore durante una rotazione completa. Ricapitolando, la corrente che scorre nel conduttore che costituisce il rotore inverte la sua direzione ogni 180° di rotazione, ma l'azione combinata del commutatore rotante e delle spazzole fa in modo che la corrente esterna abbia una direzione ossia polarità, costante.

Nell'istante in cui ognuna delle spazzole è in contatto con entrambi i segmenti del commutatore (posizioni A, C ed E nella figura 2) si produce un cortocircuito tra i due segmenti. Se, in quell'istante si verificasse una f.e.m. indotta, si avrebbe nell'avvolgimento il passaggio di una notevole corrente che potrebbe danneggiare il commutatore; per questo motivo le spazzole devono essere sistemate in posizioni tali che il contatto con entrambi i segmenti si verifichi soltanto negli istanti in cui la f.e.m. indotta è nulla, ossia nella posizione denominata « piano neutro ».

Ondulazioni

La tensione prodotta dal generatore tipico ora descritto varia in ampiezza tra 0 ed il suo valore massimo, due volte durante ogni rotazione completa del rotore (vedi figura 2). Queste variazioni di ampiezza della tensione costituiscono le cosiddette « ondulazioni »; esse possono essere ridotte mediante l'uso di un numero maggiore di spire rotanti — ossia di bobine — come è indicato nelle **figure 3** e **4.** Con l'aumentare del numero degli avvolgimenti del rotore, l'ammontare della variazione tra il valore minimo ed il valore massimo della tensione d'uscita diminuisce, e quest'ultima tende ad assumere le caratteristiche di una vera e propria corrente continua. Nelle figure 3 e 4 si nota che il numero dei segmenti di contatto che costituiscono il commutatore rotante aumenta con l'aumentare del numero degli avvolgimenti; in altre parole, i segmenti sono due per un avvolgimento, quattro per due avvolgimenti, sei per tre avvolgimenti, e così via.

Tensione d'uscita

La tensione indotta in un rotore costituito da un'unica spira è molto piccola; l'aumento del numero degli avvolgimenti di cui si è detto è utile per equalizzare l'andamento della tensione d'uscita ma non per aumentarne l'ampiezza. L'ampiezza può essere aumentata invece mediante l'uso di un numero maggiore di spire per ogni singolo avvolgimento. Entro ristretti limiti, la tensione d'uscita di un generatore di c.c. può essere calcolata mediante il prodotto del numero di spire di ogni avvolgimento, la densità di flusso che sussiste tra ogni paio di poli magnetici, e la velocità di rotazione dell'armatura.

A questo punto è necessario specificare che fino ad ora ci siamo riferiti esclusivamente ai generatori a due poli (un polo Sud ed un polo Nord), mentre — come vedremo in seguito — esistono dei generatori provvisti di un maggior numero di coppie di poli, il che contribuisce a spianare l'andamento della tensione d'uscita, esattamente come accade aumentando il numero degli avvolgimenti separati.

GENERATORI di C.C. in PRATICA

Come abbiamo ora visto, le parti essenziali di un generatore sono: *le espansioni polari, l'armatura rotante,* ed *il commutatore rotante* costituito dai *segmenti* (collettore) e dalle *spazzole*. I veri e propri generatori differiscono tuttavia dal tipo basilare descritto per i particolari che ora esponiamo.

Poli magnetici

I generatori di costruzione commerciale impiegano elettromagneti o elettrocalamite in luogo di magneti permanenti, allo scopo di produrre campi magnetici di maggiore intensità senza, peraltro, aumentare le dimensioni fisiche dello statore.

La **figura 5** illustra l'aspetto di due generatori rispet-

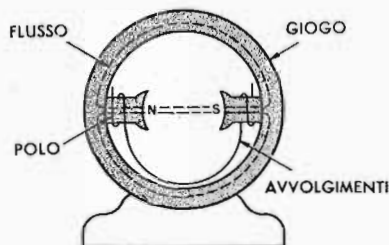



Fig. 5A - Disposizioni delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » di un generatore a due poli. Il circuito magnetico si chiude attraverso il rotore non indicato in figura.

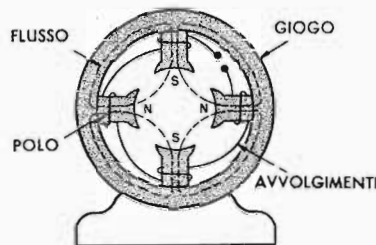



Fig. 5B - Disposizione delle polarità e senso degli avvolgimenti nel « giogo » in un generatore a quattro poli.

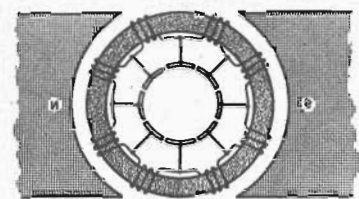



Fig. 6 - Armatura (parte rotante) del tipo ad anello di un generatore. Gli avvolgimenti sono a otto sezioni: ogni sezione fa capo ad un contatto (collettore) dal quale la corrente viene prelevata mediante una « spazzola ».

tivamente a 2 e a 4 poli, nei quali la parte esterna o *giogo* compie due funzioni: completa il circuito magnetico tra i poli, e funge da supporto meccanico per l'intero dispositivo. Nei generatori di piccole dimensioni il giogo è costituito da un unico corpo di ferro, mentre nei generatori di dimensioni notevoli consiste di due parti saldamente unite tra loro. Lo statore deve avere buone proprietà magnetiche perchè, con le espansioni polari, costituisce la maggior parte del circuito magnetico.

Le espansioni polari sono fissate all'interno dello statore: si tratta di nuclei sui quali sono avvolte le bobine di campo. Essi sono generalmente costituiti da lamierini sovrapposti onde ridurre le correnti parassite, e compiono la medesima funzione svolta dai **nuclei**, agli effetti della concentrazione magnetica delle elettrocalamite.

L'intero statore — ossia tanto la parte esterna quanto le espansioni polari — è in ferro di alte qualità magnetiche, oppure in acciaio laminato.

Le bobine di campo consistono di molte spire di filo isolato. Sono normalmente avvolte su appositi supporti la cui forma ne permette il successivo collocamento ed il rigido fissaggio sulle espansioni polari; la corrente di eccitazione che le percorre viene ricavata o da una sorgente esterna, o dalla stessa tensione prodotta dal generatore. Tra gli avvolgimenti delle bobine di campo e le espansioni polari non esiste alcun collegamento elettrico.

La maggior parte degli avvolgimenti di campo sono collegati in modo tale che i poli invertano la loro polarità: ad ogni polo Nord deve corrispondere sempre un polo Sud; di conseguenza, i poli di un generatore devono essere sempre in numero pari.

E' opportuno notare che le espansioni polari visibili nella figura 5 sporgono all'interno del giogo. Ciò riduce lo spazio esistente tra esse e l'armatura rotante, con la conseguenza di un aumento del rendimento in quanto l'aria offre una notevole riluttanza al campo magnetico. Allorchè le espansioni polari si protendono nel modo descritto, vengono denominate « poli salienti ».

Armatura.

Come abbiamo visto precedentemente, l'armatura è la parte rotante del generatore. Essa consiste di bobine avvolte su nuclei di ferro, di un commutatore, e di parti meccaniche associate. Il nucleo di ferro agisce da conduttore del campo magnetico, e, per questo motivo, è costituito da ferro laminato onde evitare le correnti parassite.

Esistono due tipi di armatura, e precisamente il tipo *ad anello* e il tipo *a tamburo*. La **figura 6** illustra un tipo di armatura ad anello costituita da un corpo in ferro, da un avvolgimento ad otto sezioni, e da un commutatore ad otto segmenti.

Nel tipo di armatura a tamburo gli avvolgimenti sono sistemati in fessure praticate nel nucleo, sebbene tra i primi ed il secondo non esista alcun collegamento elettrico (vedi **figura 7**). L'uso di tali fessure migliora la sicurezza meccanica dell'armatura. Normalmente, gli avvolgimenti vengono trattenuti nelle fessure mediante l'introduzione di strisce di materiale isolante (cartone o fibre speciali). I collegamenti con i vari avvolgimenti sono rappresentati dai fili uscenti o dai loro terminali, che sono quindi uniti ai rispettivi segmenti del collettore.

Collettore

La **figura 8** illustra la sezione trasversale di un collettore tipico. Esso viene sistemato ad una delle estremità del rotore (vedi figura 7) e consiste di segmenti di rame elettrolitico duro, isolati tra loro da sottili fogli di mica. Detti segmenti vengono tenuti saldamente al loro posto mediante anelli di acciaio sagomati oppure mediante flange. Anche tra i segmenti di rame e gli anelli o le flange esiste uno strato isolante di mica. La parte sollevata di ogni segmento prende il nome di *gradino*, al quale viene saldato uno dei terminali degli avvolgimenti del rotore. In mancanza di detto gradino il terminale viene saldato ad una prominenza presente ad una delle estremità del segmento stesso.

Le spazzole sono in diretto contatto con la superficie esterna del collettore e costituiscono così il mezzo di collegamento col circuito esterno. Esse vengono confezionate con una speciale qualità di carbone misto a polvere di rame e pressato; vengono mantenute nella posizione appropriata mediante speciali supporti isolati dalla massa metallica. Durante la rotazione la superficie del collettore scorre lungo il punto di contatto con le spazzole, ed esse, essendo libere di muoversi lungo il loro supporto, possono seguirne le eventuali irregolarità. Il contatto col circuito esterno viene realizzato con collegamenti flessibili di rame costituiti da diversi fili sottili intrecciati tra loro. Infine, le spazzole sono regolabili af-

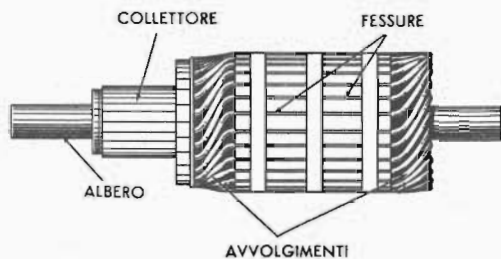
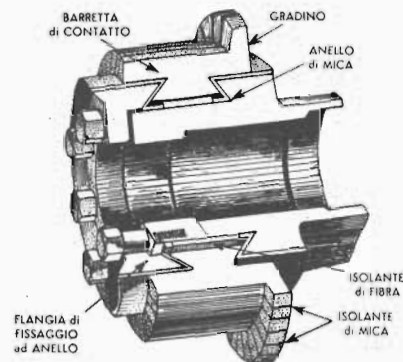



Fig. 7 - Armatura o rotore del tipo a tamburo. Gli avvolgimenti sono sistemati in fessure: anche qui i vari terminali delle sezioni fanno capo ad altrettanti segmenti tra loro isolati.

Fig. 8 - All'estremità del rotore è posto il « collettore » (vedi figura 7): eccone uno in sezione. Sono visibili le barrette di contatto in rame, i supporti isolanti, la flangia di fissaggio e la sede dell'albero principale. Per il suo funzionamento, il collettore viene anche chiamato commutatore.

finchè la pressione da esse esercitata sul collettore possa variare e affinchè possa essere scelta anche la loro posizione nei confronti dei segmenti che costituiscono il collettore.

Commutazione

Col ruotare dell'armatura di un generatore a c.c., negli avvolgimenti — allorchè gli stessi passano sotto le espansioni polari — si crea una tensione. Tale tensione può essere prelevata mediante le spazzole. Man mano che i segmenti cui fanno capo gli avvolgimenti vengono in contatto con le spazzole, si verificano due azioni simultanee: innanzitutto, viene prelevata la corrente di cui si è detto — che è la conseguenza della tensione indotta nelle bobine — e, in secondo luogo, le bobine che si trovano negli spazi interpolari vengono momentaneamente cortocircuitate, e i collegamenti alle bobine si invertono.

La continua apertura e chiusura del collegamento con la bobina nella quale viene indotta una tensione, rende necessario l'uso di spazzole aventi una minima resistenza di contatto. Inoltre, le spazzole devono essere formate da un materiale tale da rendere minimo l'attrito poichè, diversamente, il collettore verrebbe sottoposto ad un logorio eccessivo. Per questo motivo le spazzole sono costituite da un impasto non eccessivamente duro, tuttavia tale da assicurare una notevole durata. Dal momento che la resistenza di contatto del carbone (elemento predominante nella struttura delle spazzole) è piuttosto alta, la superficie di appoggio sul collettore deve essere molto ampia, e quella del collettore stesso deve essere il più levigata possibile. Si devono evitare in questo punto, nel modo più assoluto, sostanze lubrificanti, e nelle operazioni di pulitura è necessario prestare la massima attenzione onde evitare eventuali incrinazioni o incisioni nella superficie. In teoria non dovrebbe verificarsi scintillio durante il funzionamento, tuttavia, le correnti che scorrono nelle bobine del rotore determinano un proprio campo magnetico che si oppone a quello creato dagli avvolgimenti di campo. La presenza di questo campo opposto determina uno spostamento del piano neutro.

La **figura 9** illustra come si produce questo effetto denominato « reazione del rotore ».

La sezione **A** rappresenta le linee di flusso prodotte dai due poli negli istanti in cui non vi è passaggio di corrente negli avvolgimenti del rotore. La curvatura di dette linee si verifica a causa della presenza dell'armatura di ferro tra i poli, e costituisce una distorsione normale del campo magnetico in un generatore. La linea *ab* indica l'asse zero del campo.

La sezione **B** illustra le linee di flusso prodotte dalla corrente che scorre nei soli avvolgimenti del rotore; in altre parole, si suppone che le bobine di campo non siano eccitate, per cui tra le espansioni polari non si ha alcun campo magnetico.

La sezione **C**, per ultimo, illustra il campo risultante dalla presenza dei due flussi precedentemente descritti: il flusso *A* prodotto dai poli ed il flusso *B* prodotto dalla corrente che circola nel rotore. E' importante notare che l'asse zero del campo risultante è spostato come è indicato dalla linea *a'b'*. Tale spostamento determina la nuova posizione del piano neutro. Lo spostamento del campo principale fa in modo che le bobine del rotore, che stanno per essere cortocircuitate dalle spazzole, subiscano l'influenza di un ulteriore campo di intensità ridotta, che induce in esse una lieve tensione.

Tale bassa tensione viene cortocircuitata dalle spazzole; ciò determina la presenza di scintille che, a lungo andare, deteriorano il collettore. Con l'aumentare della corrente assorbita dal carico, detta reazione aumenta ed il fenomeno assume maggiori proporzioni.

Allo scopo di rimediare allo spostamento del piano neutro, si possono adottare vari espedienti:

1) l'intero complesso delle spazzole può essere ruotato in modo che esse siano allineate con la posizione assunta dal piano, e, dal momento che detto spostamento è proporzionale al carico, deduciamo che il complesso delle spazzole, secondo questa soluzione, deve poter essere regolato ogni volta che si apportano delle variazioni al carico applicato. Questo procedimento è perciò poco pratico per cui si preferisce ricorrere ad altri sistemi.

2) i poli possono essere leggermente smussati, ossia, la distanza radiale tra le superfici dei poli e l'armatura rotante può essere leggermente aumentata alle estremità dei poli stessi (**figura 10**). In questo caso, l'aumentata distanza tra le parti metalliche degli spigoli rimedia, in un certo senso, alla tendenza del campo a spostarsi a causa della reazione del rotore.

3) i poli di commutazione possono essere sistemati negli spazi interpolari. Questi poli sono più piccoli e più vicini che non quelli del campo principale, e l'avvolgimento presente su di essi è in serie all'armatura e

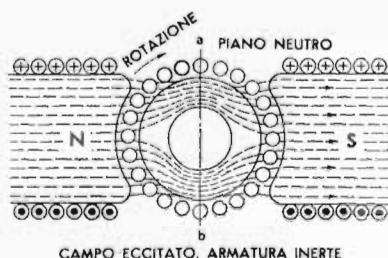



Fig. 9A - Le correnti che scorrono nelle bobine del rotore creano un campo magnetico che si oppone a quello generato dagli avvolgimenti di campo, e che sposta il piano neutro. Direzione delle linee di forza in assenza di corrente nel rotore.

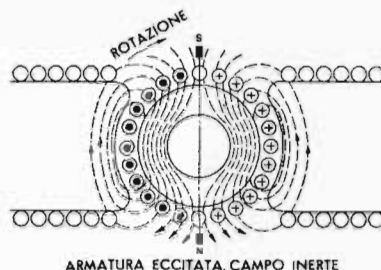



Fig. 9B - Linee di forza prodotte dalla corrente che circola nell'avvolgimento del rotore, supponendo che lo statore non sia magnetizzato.

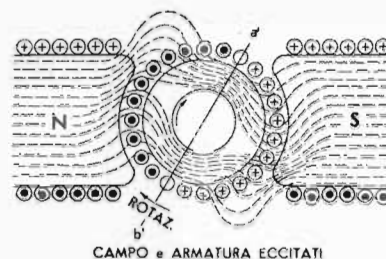



Fig. 9C - Campo magnetico risultante dalla sovrapposizione dei due campi (rotore e statore). Come si può osservare l'asse zero del campo risulta in tal caso inclinato, e ciò dà luogo a scintillio sul collettore.

collegato in modo tale che il campo magnetico da essi prodotto sia opposto al campo causato dalla reazione del rotore.

4) le superfici delle espansioni polari possono essere munite di fessure longitudinali nelle quali è possibile alloggiare gli avvolgimenti. Questi ultimi sono quindi collegati in modo tale che il campo da essi prodotto si opponga a quello prodotto dal rotore.

I generatori di c.c. possono essere classificati a seconda del metodo usato per fornire la corrente al campo di eccitazione. Quando tale corrente è ottenuta da una sorgente di energia separata, il generatore (dinamo) viene detto **ad eccitazione separata.** Normalmente detta sorgente separata è costituita da un piccolo generatore ausiliario detto « eccitatore ».

Se invece la corrente di campo è prodotta dalla dinamo stessa si dice che essa è del tipo **ad auto eccitazione.** In questo caso esistono ulteriori classificazioni a seconda che la eccitazione avvenga in serie, in parallelo, o in serie-parallelo.

ELETTRICITA' per EFFETTO ELETTRO-STATICO

La ragione per la quale l'energia elettrica può essere prodotta mediante lo sfruttamento dei principi dell'elettrostatica può essere compresa risalendo alla struttura atomica della materia: già sappiamo — ed è facile constatarlo — che l'ebanite, il vetro e diverse altre sostanze analoghe, si elettrizzano in seguito ad un attrito con sostanze diverse, assumendo cariche elettriche opposte rispetto ad esse. Le indagini sperimentali hanno dimostrato ad esempio che, da parte della seta, vengono asportati elettroni da altri corpi, in seguito a sfregamento; così, un corpo di vetro resta privo di una parte di elettroni allorchè subisce un attrito con detto materiale. In questo caso il vetro assume un potenziale positivo; è quanto già abbiamo visto esaminando la voce « elettricità » a pag. 25.

Allorchè un corpo di vetro o di ebanite subisce un attrito contro un panno di lana o di seta, si elettrizza al punto tale da esercitare una forza di attrazione nei confronti della carta o di altri corpi analoghi (vedi pagina 29); alcune nuove sostanze plastiche (ad esempio: l'astralon) sviluppate in seguito ai recenti progressi nel ramo, denotano una particolare attitudine ad esercitare in simili condizioni questa forza di attrazione.

Ciò dimostra che l'attrito tra detti corpi, opportunamente scelti, se sfruttato ed applicato in maniera razionale, può tornare utile per la produzione di una forma di energia elettrica detta appunto « elettrostatica ».

Nello sfruttamento pratico dell'elettricità statica come tale sono però assai poco usate le macchine che la producono in tal modo (per attrito) perchè esse riescono sì a fornire un potenziale molto elevato, ma con bassissima corrente; ciò significa, in ultima analisi, che l'energia disponibile è poca e non adatta agli impieghi correnti. Viene tuttavia spesso sfruttato l'effetto elettrostatico, ossia l'attrazione che il potenziale provoca, ai fini di un trasferimento di sostanze leggere da un punto ad un altro. Casi del genere si riscontrano nella verniciatura elettrostatica, nella raccolta di pulviscolo o fumo, nella stampa xerografica, ecc. ove l'azione è realizzata appunto applicando una tensione molto alta tra la parte interessata a ricevere la sostanza e la sostanza stessa o un elemento nel quale è raccolta, o dal quale proviene. L'alta tensione in gioco viene ottenuta, come si è accennato, con mezzi diversi dalla macchina generatrice per effetto elettrostatico, in quanto tali mezzi si rivelano più idonei e più pratici.

Accenneremo tuttavia, a scopo di informazione, alla esistenza di veri e propri generatori elettrostatici realizzati quasi sempre però per scopi illustrativi didattici (scuole, gabinetti di fisica, ecc.). Tali macchine, a mezzo di ingranaggi rapportatori o altre trasmissioni meccaniche (quasi sempre azionate a mano), mettono in rotazione un disco (o un nastro) costruito con uno dei materiali più idonei al fine della produzione di elettricità per sfregamento. L'attrito avviene durante la rotazione nei confronti di parti fisse realizzate con il materiale opposto. L'elettricità così ottenuta viene trasferita e raccolta, accumulandosi progressivamente in un condensatore sino a tanto che, per eccesso, ha luogo una scarica tra i due elettrodi (al limite di isolamento dell'aria che li separa). In tal modo è possibile ottenere tensioni dell'ordine dei 300.000 volt e oltre, con correnti da 8 a 10 μA (milionesimi di Ampère).

ELETTRICITA' per EFFETTO TERMO-ELETTRICO

La termocoppia

Quando due metalli differenti vengono uniti insieme, se si scalda il punto di contatto tra loro, si produce

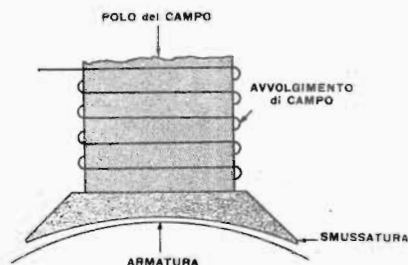



Fig. 10 - In questa figura viene messa in evidenza la smussatura ai bordi di una espansione polare, atta ad attenuare lo spostamento del campo a causa della reazione del rotore.

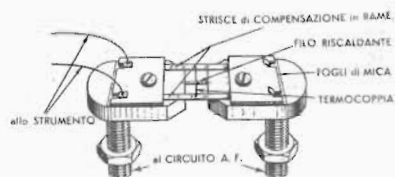



Fig. 11 - Elettricità per effetto termoelettrico: termocoppia. Quella illustrata serve alla misura della corrente ad A.F. Questa viene fatta passare in un conduttore la cui temperatura aumenta in proporzione all'intensità della corrente stessa. L'aumento di temperatura si trasmette alla coppia bimetallica provocando da parte di quest'ultima la produzione di una corrente secondaria che può essere misurata da uno strumento di tipo normale.

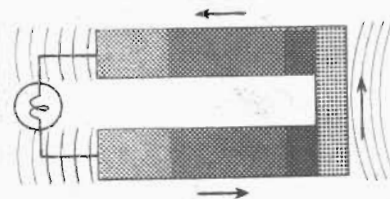



Fig. 12 - Elemento termoelettrico a semiconduttore. Funziona secondo un principio analogo a quello della termocoppia, ma ha una sensibilità circa dieci volte maggiore. La corrente si produce in seguito all'aumento di temperatura apportato alle estremità di due semiconduttori di tipo opposto: l'effetto è reversibile.

una f.e.m.: tale combinazione di metalli si chiama termocoppia.

Il principio termoelettrico trova impiego, tra l'altro, nei misuratori di corrente (amperometri) a termocoppia, i quali misurano l'uscita a radiofrequenza di un trasmettitore. L'amperometro, o strumento misuratore vero e proprio, è azionato dalla f.e.m. generata dalla termocoppia, la quale a sua volta viene riscaldata dalla corrente a radiofrequenza da misurare (**figura 11**).

I più recenti sviluppi hanno rivalutato questo sistema di produzione di energia elettrica, noto da molto tempo (Seebeck - 1821) ma finora, ai fini di una vera e propria utilizzazione pratica (tranne l'uso della termocoppia per misure, di cui si è detto), mai sfruttato.

E' interessante rilevare in tale sistema l'assenza di organi in movimento: è il calore che viene convertito direttamente in corrente. Per inciso, diremo che attualmente si sta seriamente pensando di sfruttare industrialmente anche il principio opposto, mediante il quale, applicando corrente si può ottenere un notevole abbassamento di temperatura: ci si avvia pertanto alla realizzazione di frigoriferi statici.

Il merito del nuovo, vivo interesse che si verifica nei riguardi di questo sistema, va attribuito ai semiconduttori (sostanze dalle caratteristiche di conducibilità medie, tra i conduttori e gli isolanti) che, impiegati in luogo della coppia di metalli differenti, offrono un rendimento di una diecina di volte superiore. Scaldando pertanto un'estremità di un semiconduttore, si sviluppa una corrente elettrica: in alcuni tipi la parte rimasta fredda risulta negativa (in contrapposto all'estremità calda che è positiva), in altri positiva (tipi detti **n** e **p** rispettivamente). La direzione della corrente generantesi è, naturalmente, sempre dall'estremo positivo a quello negativo (come in una pila) per tutti e due i tipi. Ora, se si prendono due semiconduttori di tipo opposto e si congiungono le loro estremità calde (**figura 12**), la corrente prodotta dal tipo « p » scorrerà dall'estremità fredda verso quella calda e il contrario si verificherà per il tipo « n »: se le due estremità libere saranno collegate ai capi da un circuito utilizzatore (ad esempio, una lampadina) attraverso tutto il circuito, compreso perciò il dispositivo elettrico da alimentare, scorrerà la corrente sino a tanto che si provvederà a mantenere caldo il punto di giunzione.

La tensione a disposizione è solo di qualche decimo di volt, però, unendo più coppie del genere, si possono ottenere anche centinaia di volt. Il rendimento raggiunto sinora è del 10% circa, ma si ritiene di poterlo accrescere. In molte applicazioni l'uso di tali generatori è già pienamente giustificato; ad esempio, negli Stati Uniti si costruisce ora un tipo (per il momento unicamente per forniture militari) capace di erogare 100 watt. Il suo peso è di soli 19 kg: viene normalmente alimentato da una bombola di metano ma può essere alimentato anche da altri combustibili.

Futuri sviluppi in questo campo si avranno nello sfruttamento del calore solare.

ELETTRICITA' per EFFETTO PIEZO-ELETTRICO

Il cristallo

Alcuni cristalli sviluppano cariche elettriche tra le loro superfici allorchè vengono assoggettati a pressioni o a tensioni meccaniche: tale fenomeno prende il nome di effetto piezoelettrico. Le cariche elettriche sviluppate sono proporzionali all'intensità della forza applicata al cristallo, e la polarità si inverte con l'alternarsi della pressione e della tensione. Tale effetto è anche reversibile, ossia, se si applica una carica a due armature metalliche tra le quali si trova un cristallo, si ha un movimento meccanico, e se si applica una tensione che inverta periodicamente la sua polarità, il cristallo vibra.

L'effetto piezoelettrico viene usato — vedremo poi in dettaglio — per i microfoni a cristallo e per i trasduttori o rivelatori (« pick-up »); grazie alla reversibilità, si può trasformare la pressione in carica elettrica (come nei microfoni e nei « pick-up »), o la carica elettrica in pressione (come nelle cuffie piezoelettriche).

La quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche intrinseche del cristallo, nonchè all'intensità delle sollecitazioni meccaniche alle quali esso è sottoposto. I tipi più comuni di cristalli usati a questo scopo sono il quarzo, i sali di Rochelle, e la tormalina. Allorchè queste sostanze vengono tagliate in maniera appropriata esse denotano la proprietà sopra enunciata.

La forma del cristallo varia a seconda dell'uso che

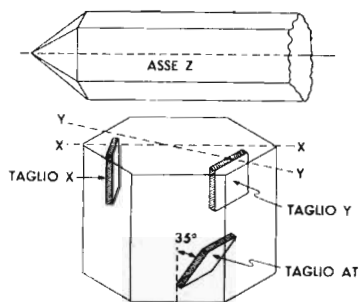



Fig. 13 - Rappresentazione dei tre sistemi principali di taglio di un cristallo piezoelettrico. L'asse AT offre la minore sensibilità alle variazioni di temperatura.

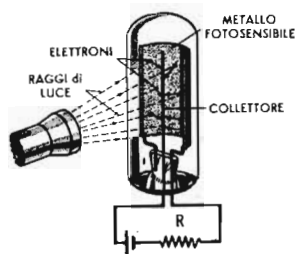



Fig. 14 - Fotocellula a vuoto. Uno strato di materiale fotosensibile emette elettroni (se colpito dalla luce), raccolti da un altro elettrodo (collettore). Gli elettrodi sono uniti al — ed al + di una fonte di energia, in serie ad una resistenza di carico.

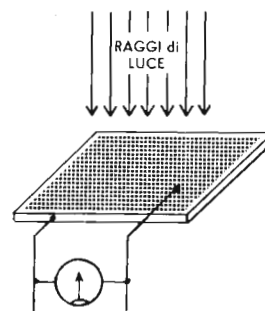



Fig. 15 - Produzione di corrente mediante la « cellula solare ». Essa è composta di un materiale (selenio o silicio) che emette una corrente elettrica proporzionale (fino ad un certo valore massimo), alla luce che lo colpisce.

si intende farne. La tecnica del taglio determina a sua volta le caratteristiche di funzionamento nonchè la polarità relativa della tensione prodotta: in altre parole, a seconda del taglio, uno dei lati può assumere un potenziale positivo mentre l'altro assume un potenziale negativo allorchè il cristallo viene sottoposto ad una pressione, o viceversa.

Alcuni cristalli vengono tagliati con forme geometriche tali da permettere la produzione di tensioni a causa di una flessione in un determinato senso invece che di una pressione.

Il taglio può essere effettuato con diversi angoli rispetto all'asse *X*, Y o *Z*, ossia rispetto alle tre dimensioni convenzionali e precisamente orizzontale, verticale e di profondità. La **figura 13** chiarisce meglio questo concetto in quanto illustra come da un cristallo avente una forma di prisma esagonale, possono essere ricavati dei cristalli effettuando il taglio nelle tre direzioni indicate. Lo scopo dei vari tipi di taglio consiste nella necessità di rendere il cristallo ricavato il più possibile indifferente alle variazioni della temperatura ambiente, le quali tendono a variare le caratteristiche della tensione prodotta. Il coefficiente di temperatura è infatti determinato dal tipo di taglio. Il taglio lungo l'asse *X* ha un coefficiente di temperatura negativo, mentre il taglio nel senso dell'asse Y ha un coefficiente positivo: esiste un ulteriore tipo di taglio indicato con le lettere *AT* nella figura, il cui coefficente di temperatura è praticamente zero.

La quantità di corrente che può normalmente passare attraverso un cristallo piezoelettrico va da 50 a 200 milliampère, e, allorchè l'intensità massima viene superata, le vibrazioni del cristallo raggiungono un'ampiezza tale che esso si rompe. Ciò accade naturalmente allorchè il cristallo viene usato in senso passivo, ossia per produrre una energia meccanica in seguito alla applicazione di una tensione. Dal punto di vista da noi ora considerato — e cioè da quello della produzione di energia elettrica — è importante rilevare che, se l'energia aumenta con l'aumentare della sollecitazione meccanica, essa non deve però superare l'intensità massima che il cristallo può sopportare onde non raggiungere il cosiddetto « carico di rottura ». Ne consegue che anche la quantità di energia prodotta è in relazione alle caratteristiche del cristallo.

ELETTRICITA' per EFFETTO FOTO-ELETTRICO

La fotocellula

Una fotocellula consiste di un disco metallico sul quale è stato depositato uno strato di materiale fotosensibile. Sulla parte superiore di detto strato, si deposita un secondo strato di metallo, tanto sottile da permettere il passaggio della luce in modo che raggiunga il materiale sensibile. Il disco metallico costituisce un elettrodo, e lo strato trasparente costituisce il secondo. Quando la luce colpisce la cellula, si produce una f.e.m. e, agli elettrodi viene collegato un carico, si ha un passaggio di corrente.

La cellula fotoelettrica si comporta quindi come un piccolo generatore che produce ai suoi capi una f.e.m. proporzionale alla intensità della luce che la colpisce. Questo principio viene utilizzato negli esposimetri (misuratori della luce) usati dai fotografi.

Esiste un altro tipo di cellula fotoelettrica costituita da un'ampolla di vetro la cui superficie interna è ricoperta da uno strato fotosensibile. Gli elettroni possono essere raccolti da un elemento metallico posto internamente al bulbo e polarizzato con un potenziale positivo, per cui, come illustrato nella **figura 14**, ai capi della resistenza *R* è possibile prelevare una differenza di potenziale determinata dalla caduta di tensione prodotta a sua volta dalla corrente di elettroni emessi a causa della luce.

La tecnica moderna ha ulteriormente perfezionato il sistema fotoelettrico di produzione dell'energia elettrica. Viene ora sfruttata l'energia luminosa del sole mediante la realizzazione delle cosiddette cellule solari (**figura 15**); esse convertono la notevole intensità della luce solare — concentrata mediante sistemi ottici — in correnti elettriche che possono raggiungere intensità tali da risultare adatte all'alimentazione di apparecchi. A questo scopo sono state istallate ad esempio lungo il percorso di linee telefoniche per alimentare gli amplificatori e vengono anche utilizzate per l'alimentazione degli apparecchi elettronici installati sui satelliti artificiali. Questi tipi di cellule possono essere realizzati mediante l'uso del selenio o del silicio: nel primo caso si ottengono correnti di intensità notevolmente inferiori che non nel secondo, per cui, nonostante un costo maggiore, le cellule al silicio sono preferibili allorchè sono necessarie correnti relativamente alte.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A = Area (superficie)
B = Densità del flusso magnetico
F = Forza magnetica (in gilbert)
f.m.m. = Forza magnetomotrice
H = Intensità della forza magnetizzante in rapporto alla lunghezza del circuito magnetico
l = Lunghezza
N = Numero delle spire di un avvolgimento (a volte, « n »)
N = Polo Nord di un magnete
P = Permeanza
R = Riluttanza magnetica (espressa in rel)
S = Polo Sud di un magnete
Φ = Fi, numero totale delle linee di forza in un circuito magnetico
μ = Permeabilità

FORMULE

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$F = 1{,}257\ IN$$

$$H = \frac{1{,}257\ IN}{l}$$

$$IN = \frac{Hl}{1{,}257}$$

$$P = \frac{1}{R\ \text{(riluttanza)}}$$

$$R = \frac{l\ \text{(lunghezza circuito)}}{\mu A\ \text{(permeabilità} \times \text{superficie)}}$$

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

SEGNI SCHEMATICI

= Amperometro, Galvanometro, Voltmetro
= Cellula fotoelettrica a fotoemissione
= Cellula fotoelettrica ad assorbimento

DOMANDE sulle LEZIONI 13ª e 14ª

N. 1 - Quale è la caratteristica che distingue un magnete da una sostanza magnetica?

N. 2 - In una barra di acciaio magnetizzata, quali sono i punti in cui l'attrazione magnetica è massima? In quale punto detta attrazione è zero?

N. 3 - In cosa consiste un campo magnetico?

N. 4 - Da quale dei due poli di un magnete escono le linee di forza?

N. 5 - Quale è la definizione di un circuito magnetico?

N. 6 - Quale è la differenza tra un magnete ed un elettromagnete?

N. 7 - Citare due sistemi di magnetizzazione.

N. 8 - Cosa si intende per « magnetismo residuo »?

N. 9 - Come sono disposti i magneti molecolari nell'acciaio non magnetizzato? Come si dispongono dopo la magnetizzazione?

N. 10 - Cosa sono i « dominî »?

N. 11 - Scrivere la formula che determina la densità di flusso B in funzione del flusso totale Φ e della sezione (superficie) del circuito magnetico.

N. 12 - Se una corrente passa in un conduttore in direzione di un osservatore, il campo magnetico che circonda detto conduttore è in senso orario o antiorario nei confronti dell'osservatore stesso?

N. 13 - Come può essere aumentato il campo magnetico di una bobina?

N. 14 - In quale modo è possibile proteggere un qualsiasi dispositivo da eventuali campi magnetici esterni?

N. 15 - Cosa si intende per « maxwell »?

N. 16 - Quali sono i metodi principali per produrre energia elettrica?

N. 17 - Quali sono le parti principali di una dinamo?

N. 18 - Quali sono gli assi di taglio di un cristallo piezoelettrico?

N. 19 - Quale è l'asse di taglio il cui coefficiente di temperatura è più vantaggioso?

N. 20 - Quanti e quali sono i tipi principali di fotocellule?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 89

N. 1 -

Tre: in serie, in parallelo ed in serie-parallelo.

N. 2 -

Ammonta a 525 volt. Infatti, poichè V=R×I, abbiamo V = 15.000 ohm × 0,035 ampère = 525 volt.

N. 3 -

L'opposto della resistenza. Viene indicata dalla lettera G ed equivale a 1 : R.

N. 4 -

La corrente ammonta a 8,18 ampère, e viene calcolata applicando la formula I = W : V, ossia I = 900 watt : 110 volt = 8,18 ampère.

N. 5 -

2.500 micromho. Infatti, se R = V : I, la conduttanza è data da I : V, ossia G = 0,25 ampère : 110 volt = 0,0025 mho, pari a 2.500 μmho.

N. 6 -

Un kilowattora rappresenta la dissipazione di 1 kW in un'ora, e corrisponde a 3.600 × 10^3 joule.

N. 7 -

a) = 20 ohm, b) = 25 ohm, c) = 180 Watt, d) = 52,5 volt, e) = 37,5 volt, ed f) = 12.500 micromho.

N. 8 -

Le cellule primarie non possono essere ricaricate dopo aver erogato tutta l'energia in esse contenuta, mentre le cellule secondarie possono essere ricaricate per un numero notevole di volte.

N. 9 -

Verso l'elettrodo positivo.

N. 10 -

La resistenza interna aumenta: la tensione e la corrente diminuiscono, e quest'ultima si approssima a zero.

N. 11 -

Il compito del biossido di manganese è di esercitare una azione depolarizzante, ossia di neutralizzare il fenomeno di polarizzazione.

N. 12 -

La tensione totale ammonta a 15 V, e la corrente rimane quella di 1 ampère.

N. 13 -

Durante la scarica il peso specifico dell'elettrolita diminuisce.

N. 14 -

Per consentire ai gas che si sviluppano durante la carica di espandersi all'esterno senza peraltro danneggiare l'elemento.

La tabella 26 espone in forma sinottica il significato ed il simbolo delle unità magnetiche. Oni qualvolta il lettore si troverà in contatto con lo studio di un circuito magnetico, potrà — consultando detta tabella — richiamare alla memoria tutti quei concetti e quelle formule fondamentali che non gli sono rimaste sufficientemente impresse.

Come abbiamo visto nella lezione 13ª, esiste una notevole analogia tra i principi che governano l'energia elettrica e quelli che invece governano l'energia magnetica, e — per meglio chiarirli unitamente al significato delle varie unità di misura di cui si fa uso nello studio dei circuiti magnetici — riportiamo la tabella 27. Essa consente infatti di constatare direttamente il netto parallelismo che sussiste tra le unità elettriche e le unità magnetiche, la cui assimilazione risulterà pertanto facilitata.

Nella Fisica vengono adottati comunemente due sistemi di misura, in rapporto ai quali le varie unità possono essere conguagliate: il sistema C.G.S., che si basa sulle unità fondamentali « centimetro, grammo e minuto secondo », ed il sistema M.K.S. che si basa invece sulle unità « metro, chilogrammo e minuto secondo ». Poichè potrà accadere di trovare su altri testi quantità e formule espresse secondo entrambi tali sistemi, riportiamo la tabella 28 che facilita la conversione di un sistema di unità nell'altro, e viceversa.

Le tre tabelle ora citate, strettamente connesse tra loro, costituiscono un quadro sinottico della teoria del magnetismo sviluppata nella lezione 13ª, ed è quindi importante che tutte le unità in esse considerate siano ben chiare al lettore. La loro perfetta conoscenza sarà infatti di valido aiuto per la comprensione di tutti quei fenomeni che incontreremo frequentemente nello studio dell'elettronica, e che si basano sul magnetismo e sull'elettromagnetismo. Vedremo infatti allorchè ci occuperemo dei trasformatori (organi di fondamentale importanza in qualsiasi apparecchiatura elettronica, tranne rare eccezioni), quale importanza abbia la densità di flusso, la permeabilità, la forza magnetizzante, ecc.

Tra i vari sistemi di produzione della corrente abbiamo considerato anche le cosiddette coppie termoelettriche. Esse sono poste in commercio in varie forme e dimensioni, a seconda delle esigenze.

Le leghe più comuni adottate per la loro fabbricazione sono raggruppate nella tabella 29. Essa consiste in un grafico dal quale è possibile rilevare la tensione in millivolt fornita da una termocoppia allorchè gli elementi che la compongono vengono portati ad una certa temperatura. Le sei curve riportate nel grafico stesso si riferiscono a sei diversi tipi di termocoppie, ciascuno dei quali è costituito da elementi diversi, come segue:

— C/Si C = Carbonio e lega di Silicio e Carburo.

— Fe/Cost = Ferro e Costantana.

— Cu/Cost = Rame e Costantana.

— Cr/Al = Cromo ed Alluminio.

— Pt/Pt-Re = Platino e lega di Platino e Renio.

— Pt/Pt-Re-Rh = Platino e lega di Platino, Renio e Rodio.

Come si nota, la coppia costituita da Carbonio e da una lega di Silicio e Carburo è la più attiva, in quanto determina una tensione di 100 millivolt (0,1 volt), allorchè viene portata ad una temperatura di 370° C. La coppia Rame/Costantana — per contro — fornisce una tensione di soli 20 millivolt con una temperatura di 390° C.

TABELLA 26 - UNITA' MAGNETICHE e RELATIVE DEFINIZIONI

Termine	Descrizione	Simbolo	Unità Metrica
Flusso	Numero totale delle linee	Φ	1 Maxwell = = 1 linea
Permeabilità	Rapporto tra il fattore Φ del materiale e quello dell'aria	μ	= 1 per l'aria ed il vuoto
Densità di flusso	Linee per unità di superficie, B = μH	B	1 gauss = 1 linea per cm²
Forza magnetomotrice	Forza totale che produce il flusso	f.m.m.	1 gilbert = = 1,26 A/sp.
Forza magnetizzante o Intensità di campo	Forza per cm del circuito magnetico	H	1 oersted = $\frac{1,26 \text{ amp./spira}}{\text{cm}}$
Riluttanza	Opposizione al flusso	R	= $\frac{\text{gilbert}}{\text{maxwell}}$

TABELLA 27 - CONFRONTO tra UNITA' ELETTRICHE e MAGNETICHE

Unità di	Circuito elettrico	Circuito magnetico
Forza	volt, E, oppure f.e.m.	gilbert, o f.m.m.
Intensità di flusso	ampère, I	Flusso, Φ (in maxwell)
Opposizione . .	ohm, R	Riluttanza (in rel) di Rowland,
Legge	di Ohm, $I = \frac{E}{R}$	$\Phi = \frac{F}{R}$
Intensità di forza	volt per cm	$H = \frac{1,257 \text{ IN}}{1}$
Densità	Densità di corrente (ampère/cm²)	Densità di flusso (linee/cm² = gauss)

TABELLA 28 - CONVERSIONE delle UNITA' MAGNETICHE C.G.S. in M.K.S.

	Unità C.G.S.	Unità M.K.S.
Forza magnetizzante F	1 gilbert	$\frac{\text{amperspire} \times 4\pi}{10}$
Forza magnetizzante H	1 oersted	$\frac{\text{amperspire/metro} \times 10^3}{4\pi}$
Flusso totale Φ	1 maxwell	weber × 10^{-8}
Densità di flusso B	1 gauss	weber/metro² × 10^{-4}

La tabella 30 elenca i valori di B (intensità di flusso) ed i relativi valori di « μ » (permeabilità) e di « H » (forza magnetizzante) per vari materiali di uso comune per la realizzazione di circuiti magnetici. Essa si dimostrerà particolarmente utile per la progettazione di schermi protettivi o di espansioni polari per applicazioni negli altoparlanti, nei microfoni, negli elettromagneti, ecc.

La tabella 31 elenco invece le caratteristiche magnetiche di alcuni materiali impiegati per la fabbricazione di nuclei per avvolgimenti. Il lettore avrà occasione di consultarla allorchè ci occuperemo di trasformatori e di impedenze di Bassa Frequenza.

La Tabella 32 elenca le caratteristiche principali delle leghe più comuni adottate per la fabbricazione di magneti permanenti. Nella lezione 13ª abbiamo studiato le leggi e le formule relative, tuttavia le seguenti brevi note saranno utili per l'interpretazione della tabella, nonchè per valutare una lega adottata o da adottare in un circuito magnetico:

« Br » è la magnetizzazione residua, ed è espressa in gauss, ossia in linee per cm². Essa è dunque la densità di flusso che rimane nel materiale dopo la magnetizzazione fino al punto di saturazione, e dopo l'inevitabile abbassamento della magnetizzazione stessa una volta aperto il circuito magnetico. « Hc » è la forza coercitiva, ossia la forza magnetizzante che deve essere applicata ad un magnete per riportare a zero il valore di Br. « BH max × 10^6 » è il prodotto tra la forza magnetizzante e la densità di flusso, ed è espresso sotto forma di prodotto (× 10^6) ossia per un milione, onde evitare troppi zeri nel valore numerico. « Bd » è la densità di flusso B sul ciclo di isteresi esterno (vedi pag. 103), detto anche « curva di smagnetizzazione », corrispondente ad un dato valore di —H, (definito anche Hd), nel punto BH max. « Hd » è il valore negativo di H in rapporto alla lunghezza del circuito magnetico, corrispondente ad un dato valore di B (normalmente nel punto BH max).

« H sat » è infine l'intensità della forza magnetizzante necessaria per magnetizzare il materiale fino alla saturazione, ossia fino a creare in esso il massimo delle linee di forza. Anche questo valore è espresso in oersted.

TABELLA 29 - GRAFICO delle CARATTERISTICHE di ALCUNE COPPIE TERMOELETTRICHE

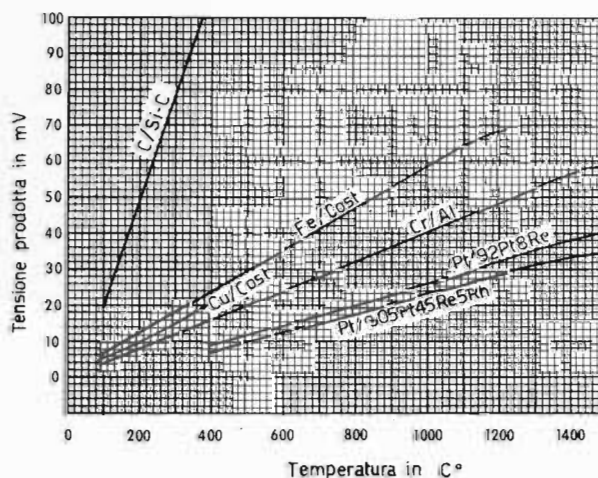



TABELLA 30 - VALORI di B, H, e μ per MATERIALI MAGNETICI di USO COMUNE

B gauss	Acciaio laminato		Acciaio fuso		Ferro fuso		Ferro battuto		Ghisa	
	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ	H	μ
3.000	1,3	2.310	2,8	1.070	5,0	600	2,0	1.500	—	—
4.000	1,6	2.500	3,4	1.177	8,5	471	2,5	1.600	5,0	800
5.000	1,9	2.630	3,9	1.281	14,5	347	3,0	1.666	10,0	500
6.000	2,3	2.605	4,5	1.332	24,0	250	3,5	1.716	21,5	279
7.000	2,6	2.700	5,1	1.371	38,0	182	4,0	1.750	42,0	166
8.000	3,0	2.666	5,8	1.380	60,0	133	4,5	1.778	80,0	100
9.000	3,5	2.570	6,5	1.382	89,0	101	5,0	1.800	127,0	71
10.000	3,9	2.560	7,5	1.332	124,0	80,6	5,6	1.782	188,0	53
11.000	4,4	2.500	9,0	1.222	166,0	66,4	6,5	1.692	292,0	37
12.000	5,0	2.400	11,5	1.042	222,0	54,1	7,9	1.510	—	—
13.000	6,0	2.166	16,0	813	290,0	44,8	10,0	1.300	—	—
14.000	9,0	1.558	21,5	651	396,0	38,0	15,0	934	—	—
15.000	15,5	970	32,0	469	—	—	25,0	600	—	—
16.000	27,0	594	49,0	327	—	—	49,0	327	—	—
17.000	52,5	324	74,0	230	—	—	93,0	183	—	—
18.000	92,0	196	115,0	156	—	—	152,0	118	—	—
19.000	149,0	127	175,0	108	—	—	229,0	83	—	—
20.000	232,0	86	285,0	70	—	—	—	—	—	—

Esempio di impiego

Dovendo costruire un'espansione polare di un magnete con un certo materiale — ad esempio con ferro fuso — la tabella ci dice che, se la densità del flusso esistente è, supponiamo, di 10.000 *gauss*, (ossia 10.000 linee al cm²), la forza magnetizzante *H* ammonta a 124,0 *oersted*, e la permeabilità μ a 80,6.

TABELLA 31 - CARATTERISTICHE di ALCUNE LEGHE MAGNETICHE per NUCLEI

Lega	iniziale Permeabilità μ	Permeabilità massima μ	Intensità di campo max. H	Induzione gauss	Saturazione gauss
Ferro al silicio	500	7.000	1,20	6.000	20.000
Permanorm	2.500	19.000	0,02	4.500	14.000
Megaperm	4.800	26.000	0,08	2.000	8.500
Mumetallo	1.200	45.000	0,09	4.000	8.000
Permalloy	10.000	50.000	0,09	4.500	9.000

Esempio di impiego

Nella costruzione di un indotto avvolto su un nucleo di ferro al silicio, la tabella ci dice che la permeabilità μ di questo materiale varia da un minimo di 500 ad un massimo di 7.000, e che la magnetizzazione di saturazione si verifica allorchè la densità di flusso raggiunge il valore di 20.000 linee al cm².

Questi dati consentono il dimensionamento elettrico e meccanico entro limiti di sicurezza.

TABELLA 32 - CARATTERISTICHE delle PRINCIPALI LEGHE per MAGNETI PERMANENTI

Lega	Br gauss	Hc oersted	BH (max) x 16^6	Bd gauss	Hd oersted	H sat. oersted
Alni	6.300	520	1,20	4.200	310	2.000
Alnico I°	5.200	750	1,30	3.000	400	3.000
Alnico II°	7.500	580	1,60	4.500	360	2.500
Alnico IV°	6.000	1.000	2,20	3.500	630	3.500
Alnico V°	12.000	560	4,50	9.500	475	—
Alnico VII°	10.200	700	3,60	7.500	480	3.000
Mexalco	12.200	650	4,50	9.800	460	3.000
Ticonal GX	13.500	720	7,50	12.000	625	—
Ticonal G	13.480	583	5,70	11.000	520	—
Ticonal L	13.500	575	5,40	12.000	450	—
Ticonal C	12.500	680	5,00	9.620	520	—
Ticonal K	9.000	1.300	4,00	5.000	800	—
Reco 3A	7.200	645	1,70	4.350	390	—
Magnadur 1	2.000	1.750	0,95	950	1.000	—
Ferroxdure FXD1	2.000	1.700	0,90	—	—	14.000
Ferroxdure FXD2	3.850	1.800	3,20	—	—	14.000

Esempio di impiego

Nella maggior parte dei casi, il magnete permanente deve avere la massima potenza con le minime dimensioni. Ove queste siano un fattore determinante, una volta nota l'intensità del campo che si desidera ottenere, si può scegliere il materiale adatto a calcolarne la sezione.

Un magnete che debba erogare una densità di flusso — supponiamo — di 20.000 *gauss*, realizzato in lega Mexalco — ad esempio — dovrà avere una sezione di 20.000 (*gauss*): 12.200 (vedi tabella, colonna *Br*) = 1,67 cm². Per magnetizzarlo fino alla saturazione, onde avere poi la magnetizzazione residua richiesta, occorre quindi una forza magnetizzante *Hsat* di 3.000 (*oersted*) × 1,67 (cm²) = 5.010 *oersted*.

TABELLA 33 - CONFRONTO tra ALCUNE CELLULE FOTOELETTRICHE

TIPO di CELLULA	S (A/lumen)	A (cm²)	H (10^{-4}A/lux)	N (10^{16}qu/lum.)	I max / Q max	f max
Cellula fotoemittente, a vuoto 90-AV	0,00005	4	0,0002	1	10 μA	100 MHz
Cellula fotoemittente, a gas 90-AG	0,00013	4	0,0005	1	10 μA	10 kHz
Fotomoltiplicatore 50-AVP	500	8	4000	1	100 mA	100 MHz
Cellula fotovoltaica al selenio	0,0005	10	0,005	1	50 μW/lumen	2 kHz
Fotodiodo OAP-12	0,05	0,01	0,0005	20	0,12 W	50 kHz
Fototransistore OCP-71	0,3	0,07	0,02	20	0,10 W	750 kHz
Cellula fotoconduttrice al CdS ORP-30 (a 100 V)	16	2,5	40	2	1,2 W	per 30 lux : 3 Hz per 4 lux : 1 Hz

TABELLA 34 - CARATTERISTICHE di ALCUNE BATTERIE SOLARI

CASA PRODUTTRICE e TIPO	DIMENSIONI mm	SUPERFICIE ATTIVA cm²	RENDIMENTO %	MATERIALE SENSIBILE	ENERGIA INCIDENTE 100 mW/cm²		
					Pot. mW	Tens. V	Corr. mA
International Rectifier Corp.							
S 1020	10×20	1,75	4	Silicio	7,00	0,35	17,5
S 1020 A	10×20	1,75	6	»	10,50	0,40	26,0
S 1020 B	10×20	1,75	8	»	14,00	0,40	35,0
S 0520	5×20	0,75	4	»	3,00	0,35	7,5
S 0520 A	5×20	0,75	6	»	4,50	0,40	11,2
S 0520 B	5×20	0,75	8	»	6,00	0,40	15,0
S 0510	5×10	0,37	4	»	1,50	0,35	3,8
S 0510 A	5×10	0,37	6	»	2,25	0,40	5,6
S 0510 B	5×10	0,37	8	»	3,00	0,40	7,5
S 1020 M8	10×20	1,80	8	»	14,40	0,40	36,0
S 1020 M9	10×20	1,80	9	»	16,20	0,40	40,5
S 1020 M10	10×20	1,80	10	»	18,00	0,40	45,0
					ENERGIA INCIDENTE 100.000 lux		
1 B 2	18×11	1,70	—	Selenio	0,90	0,26	3,5
B 2 M	18×11	1,70	—	»	1,00	0,50	2,0
1 B 5	18×36	4,90	—	»	2,60	0,26	10,0
1 B 10	18×43	8,00	—	»	4,40	0,26	17,0
1 B 15	43×43	14,50	—	»	7,80	0,26	30,0
1 B 20	50×50	21,00	—	»	9,60	0,26	37,0
1 B 30	82×82	60,00	—	»	26,00	0,26	100,0
Hoffman Electronics							
220 C	20×20	3,80	—	Silicio	26,50	0,55	48,0
120 C	20×10	1,80	—	»	12,50	0,55	23,0
110 C	10×10	0,90	—	»	6,00	0,55	11,0
52 C	5×20	0,80	—	»	6,60	0,55	12,0
51 C	5×10	0,40	—	»	3,30	0,55	6,0
55 C	5×5	0,20	—	»	1,65	0,55	3.0
58 C	5×2,5	0,10	—	»	0,72	0,55	1,3
2 A	⌀ 28	4,75	—	»	33.00	0,55	60,0

La tabella 33 consente un rapido confronto tra alcuni tipi di cellule fotoelettriche. La sensibilità è riferita ad una illuminazione con una lampada a filamento di tungsteno alla temperatura di colore di 2.800° C. La quarta, quinta e sesta colonna dànno rispettivamente il numero dei «quanta» assorbiti per lumen (N), il valore massimo della corrente (I_{max}) in μA o della potenza dissipata (Q_{max}) in W o in μW/lumen, e la massima frequenza ammissibile delle variazioni periodiche in intensità di illuminazione (f_{max}).

La tabella 34 raggruppa le caratteristiche principali delle cellule solari più comuni e di produzione commerciale, alcune delle quali sono già in impiego normale per l'alimentazione di apparecchi radio, di dispositivi speciali installati sui missili, nonchè per la fabbricazione di esposimetri fotoelettrici.

Per ultima, la tabella 35 permette la rapida conversione dei valori di temperatura (espressi in gradi Fahrenheit) in gradi centigradi, e viceversa. Per evitare errori, è bene rilevare che, secondo il sistema americano, la virgola sta per la spaziatura tra gruppi di tre cifre decimali, mentre il punto sostituisce la virgola normale che divide il numero intero dalla parte frazionaria.

TABELLA 35 - CORRISPONDENZA della TEMPERATURA tra GRADI CENTIGRADI e GRADI FAHRENHEIT e viceversa

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-200	-328.0	-100	-148.0	0	32.0	0	32.0	100	212.0	200	392.0	300	572.0	400	752.0	500	932.0	600	1,112.0	700	1,292.0
-201	-329.8	-101	-149.8	-1	30.2	1	33.8	101	213.8	201	393.8	301	573.8	401	753.8	501	933.8	601	1,113.8	701	1,293.8
-202	-331.6	-102	-151.6	-2	28.4	2	35.6	102	215.6	202	395.6	302	575.6	402	755.6	502	935.6	602	1,115.6	702	1,295.6
-203	-333.4	-103	-153.4	-3	26.6	3	37.4	103	217.4	203	397.4	303	577.4	403	757.4	503	937.4	603	1,117.4	703	1,297.4
-204	-335.2	-104	-155.2	-4	24.8	4	39.2	104	219.2	204	399.2	304	579.2	404	759.2	504	939.2	604	1,119.2	704	1,299.2
-205	-337.0	-105	-157.0	-5	23.0	5	41.0	105	221.0	205	401.0	305	581.0	405	761.0	505	941.0	605	1,121.0	705	1,301.0
-206	-338.8	-106	-158.8	-6	21.2	6	42.8	106	222.8	206	402.8	306	582.8	406	762.8	506	942.8	606	1,122.8	706	1,302.8
-207	-340.6	-107	-160.6	-7	19.4	7	44.6	107	224.6	207	404.6	307	584.6	407	764.6	507	944.6	607	1,124.6	707	1,304.6
-208	-342.4	-108	-162.4	-8	17.6	8	46.4	108	226.4	208	406.4	308	586.4	408	766.4	508	946.4	608	1,126.4	708	1,306.4
-209	-344.2	-109	-164.2	-9	15.8	9	48.2	109	228.2	209	408.2	309	588.2	409	768.2	509	948.2	609	1,128.2	709	1,308.2
-210	-346.0	-110	-166.0	-10	14.0	10	50.0	110	230.0	210	410.0	310	590.0	410	770.0	510	950.0	610	1,130.0	710	1,310.0
-211	-347.8	-111	-167.8	-11	12.2	11	51.8	111	231.8	211	411.8	311	591.8	411	771.8	511	951.8	611	1,131.8	711	1,311.8
-212	-349.6	-112	-169.6	-12	10.4	12	53.6	112	233.6	212	413.6	312	593.6	412	773.6	512	953.6	612	1,133.6	712	1,313.6
-213	-351.4	-113	-171.4	-13	8.6	13	55.4	113	235.4	213	415.4	313	595.4	413	775.4	513	955.4	613	1,135.4	713	1,315.4
-214	-353.2	-114	-173.2	-14	6.8	14	57.2	114	237.2	214	417.2	314	597.2	414	777.2	514	957.2	614	1,137.2	714	1,317.2
-215	-355.0	-115	-175.0	-15	5.0	15	59.0	115	239.0	215	419.0	315	599.0	415	779.0	515	959.0	615	1,139.0	715	1,319.0
-216	-356.8	-116	-176.8	-16	3.2	16	60.8	116	240.8	216	420.8	316	600.8	416	780.8	516	960.8	616	1,140.8	716	1,320.8
-217	-358.6	-117	-178.6	-17	1.4	17	62.6	117	242.6	217	422.6	317	602.6	417	782.6	517	962.6	617	1,142.6	717	1,322.6
-218	-360.4	-118	-180.4	-18	-0.4	18	64.4	118	244.4	218	424.4	318	604.4	418	784.4	518	964.4	618	1,144.4	718	1,324.4
-219	-362.2	-119	-182.2	-19	-2.2	19	66.2	119	246.2	219	426.2	319	606.2	419	786.2	519	966.2	619	1,146.2	719	1,326.2
-220	-364.0	-120	-184.0	-20	-4.0	20	68.0	120	248.0	220	428.0	320	608.0	420	788.0	520	968.0	620	1,148.0	720	1,328.0
-221	-365.8	-121	-185.8	-21	-5.8	21	69.8	121	249.8	221	429.8	321	609.8	421	789.8	521	969.8	621	1,149.8	721	1,329.8
-222	-367.6	-122	-187.6	-22	-7.6	22	71.6	122	251.6	222	431.6	322	611.6	422	791.6	522	971.6	622	1,151.6	722	1,331.6
-223	-369.4	-123	-189.4	-23	-9.4	23	73.4	123	253.4	223	433.4	323	613.4	423	793.4	523	973.4	623	1,153.4	723	1,333.4
-224	-371.2	-124	-191.2	-24	-11.2	24	75.2	124	255.2	224	435.2	324	615.2	424	795.2	524	975.2	624	1,155.2	724	1,335.2
-225	-373.0	-125	-193.0	-25	-13.0	25	77.0	125	257.0	225	437.0	325	617.0	425	797.0	525	977.0	625	1,157.0	725	1,337.0
-226	-374.8	-126	-194.8	-26	-14.8	26	78.8	126	258.8	226	438.8	326	618.8	426	798.8	526	978.8	626	1,158.8	726	1,338.8
-227	-376.6	-127	-196.6	-27	-16.6	27	80.6	127	260.6	227	440.6	327	620.6	427	800.6	527	980.6	627	1,160.6	727	1,340.6
-228	-378.4	-128	-198.4	-28	-18.4	28	82.4	128	262.4	228	442.4	328	622.4	428	802.4	528	982.4	628	1,162.4	728	1,342.4
-229	-380.2	-129	-200.2	-29	-20.2	29	84.2	129	264.2	229	444.2	329	624.2	429	804.2	529	984.2	629	1,164.2	729	1,344.2
-230	-382.0	-130	-202.0	-30	-22.0	30	86.0	130	266.0	230	446.0	330	626.0	430	806.0	530	986.0	630	1,166.0	730	1,346.0
-231	-383.8	-131	-203.8	-31	-23.8	31	87.8	131	267.8	231	447.8	331	627.8	431	807.8	531	987.8	631	1,167.8	731	1,347.8
-232	-385.6	-132	-205.6	-32	-25.6	32	89.6	132	269.6	232	449.6	332	629.6	432	809.6	532	989.6	632	1,169.6	732	1,349.6
-233	-387.4	-133	-207.4	-33	-27.4	33	91.4	133	271.4	233	451.4	333	631.4	433	811.4	533	991.4	633	1,171.4	733	1,351.4
-234	-389.2	-134	-209.2	-34	-29.2	34	93.2	134	273.2	234	453.2	334	633.2	434	813.2	534	993.2	634	1,173.2	734	1,353.2
-235	-391.0	-135	-211.0	-35	-31.0	35	95.0	135	275.0	235	455.0	335	635.0	435	815.0	535	995.0	635	1,175.0	735	1,355.0
-236	-392.8	-136	-212.8	-36	-32.8	36	96.8	136	276.8	236	456.8	336	636.8	436	816.8	536	996.8	636	1,176.8	736	1,356.8
-237	-394.6	-137	-214.6	-37	-34.6	37	98.6	137	278.6	237	458.6	337	638.6	437	818.6	537	998.6	637	1,178.6	737	1,358.6
-238	-396.4	-138	-216.4	-38	-36.4	38	100.4	138	280.4	238	460.4	338	640.4	438	820.4	538	1,000.4	638	1,180.4	738	1,360.4
-239	-398.2	-139	-218.2	-39	-38.2	39	102.2	139	282.2	239	462.2	339	642.2	439	822.2	539	1,002.2	639	1,182.2	739	1,362.2
-240	-400.0	-140	-220.0	-40	-40.0	40	104.0	140	284.0	240	464.0	340	644.0	440	824.0	540	1,004.0	640	1,184.0	740	1,364.0
-241	-401.8	-141	-221.8	-41	-41.8	41	105.8	141	285.8	241	465.8	341	645.8	441	825.8	541	1,005.8	641	1,185.8	741	1,365.8
-242	-403.6	-142	-223.6	-42	-43.6	42	107.6	142	287.6	242	467.6	342	647.6	442	827.6	542	1,007.6	642	1,187.6	742	1,367.6
-243	-405.4	-143	-225.4	-43	-45.4	43	109.4	143	289.4	243	469.4	343	649.4	443	829.4	543	1,009.4	643	1,189.4	743	1,369.4
-244	-407.2	-144	-227.2	-44	-47.2	44	111.2	144	291.2	244	471.2	344	651.2	444	831.2	544	1,011.2	644	1,191.2	744	1,371.2
-245	-409.0	-145	-229.0	-45	-49.0	45	113.0	145	293.0	245	473.0	345	653.0	445	833.0	545	1,013.0	645	1,193.0	745	1,373.0
-246	-410.8	-146	-230.8	-46	-50.8	46	114.8	146	294.8	246	474.8	346	654.8	446	834.8	546	1,014.8	646	1,194.8	746	1,374.8
-247	-412.6	-147	-232.6	-47	-52.6	47	116.6	147	296.6	247	476.6	347	656.6	447	836.6	547	1,016.6	647	1,196.6	747	1,376.6
-248	-414.4	-148	-234.4	-48	-54.4	48	118.4	148	298.4	248	478.4	348	658.4	448	838.4	548	1,018.4	648	1,198.4	748	1,378.4
-249	-416.2	-149	-236.2	-49	-56.2	49	120.2	149	300.2	249	480.2	349	660.2	449	840.2	549	1,020.2	649	1,200.2	749	1,380.2
-250	-418.0	-150	-238.0	-50	-58.0	50	122.0	150	302.0	250	482.0	350	662.0	450	842.0	550	1,022.0	650	1,202.0	750	1,382.0
-251	-419.8	-151	-239.8	-51	-59.8	51	123.8	151	303.8	251	483.8	351	663.8	451	843.8	551	1,023.8	651	1,203.8	751	1,383.8
-252	-421.6	-152	-241.6	-52	-61.6	52	125.6	152	305.6	252	485.6	352	665.6	452	845.6	552	1,025.6	652	1,205.6	752	1,385.6
-253	-423.4	-153	-243.4	-53	-63.4	53	127.4	153	307.4	253	487.4	353	667.4	453	847.4	553	1,027.4	653	1,207.4	753	1,387.4
-254	-425.2	-154	-245.2	-54	-65.2	54	129.2	154	309.2	254	489.2	354	669.2	454	849.2	554	1,029.2	654	1,209.2	754	1,389.2
-255	-427.0	-155	-247.0	-55	-67.0	55	131.0	155	311.0	255	491.0	355	671.0	455	851.0	555	1,031.0	655	1,211.0	755	1,391.0
-256	-428.8	-156	-248.8	-56	-68.8	56	132.8	156	312.8	256	492.8	356	672.8	456	852.8	556	1,032.8	656	1,212.8	756	1,392.8
-257	-430.6	-157	-250.6	-57	-70.6	57	134.6	157	314.6	257	494.6	357	674.6	457	854.6	557	1,034.6	657	1,214.6	757	1,394.6
-258	-432.4	-158	-252.4	-58	-72.4	58	136.4	158	316.4	258	496.4	358	676.4	458	856.4	558	1,036.4	658	1,216.4	758	1,396.4
-259	-434.2	-159	-254.2	-59	-74.2	59	138.2	159	318.2	259	498.2	359	678.2	459	858.2	559	1,038.2	659	1,218.2	759	1,398.2
-260	-436.0	-160	-256.0	-60	-76.0	60	140.0	160	320.0	260	500.0	360	680.0	460	860.0	560	1,040.0	660	1,220.0	760	1,400.0
-261	-437.8	-161	-257.8	-61	-77.8	61	141.8	161	321.8	261	501.8	361	681.8	461	861.8	561	1,041.8	661	1,221.8	761	1,401.8
-262	-439.6	-162	-259.6	-62	-79.6	62	143.6	162	323.6	262	503.6	362	683.6	462	863.6	562	1,043.6	662	1,223.6	762	1,403.6
-263	-441.4	-163	-261.4	-63	-81.4	63	145.4	163	325.4	263	505.4	363	685.4	463	865.4	563	1,045.4	663	1,225.4	763	1,405.4
-264	-443.2	-164	-263.2	-64	-83.2	64	147.2	164	327.2	264	507.2	364	687.2	464	867.2	564	1,047.2	664	1,227.2	764	1,407.2
-265	-445.0	-165	-265.0	-65	-85.0	65	149.0	165	329.0	265	509.0	365	689.0	465	869.0	565	1,049.0	665	1,229.0	765	1,409.0
-266	-446.8	-166	-266.8	-66	-86.8	66	150.8	166	330.8	266	510.8	366	690.8	466	870.8	566	1,050.8	666	1,230.8	766	1,410.8
-267	-448.6	-167	-268.6	-67	-88.6	67	152.6	167	332.6	267	512.6	367	692.6	467	872.6	567	1,052.6	667	1,232.6	767	1,412.6
-268	-450.4	-168	-270.4	-68	-90.4	68	154.4	168	334.4	268	514.4	368	694.4	468	874.4	568	1,054.4	668	1,234.4	768	1,414.4
-269	-452.2	-169	-272.2	-69	-92.2	69	156.2	169	336.2	269	516.2	369	696.2	469	876.2	569	1,056.2	669	1,236.2	769	1,416.2
-270	-454.0	-170	-274.0	-70	-94.0	70	158.0	170	338.0	270	518.0	370	698.0	470	878.0	570	1,058.0	670	1,238.0	770	1,418.0
-271	-455.8	-171	-275.8	-71	-95.8	71	159.8	171	339.8	271	519.8	371	699.8	471	879.8	571	1,059.8	671	1,239.8	771	1,419.8
-272	-457.6	-172	-277.6	-72	-97.6	72	161.6	172	341.6	272	521.6	372	701.6	472	881.6	572	1,061.6	672	1,241.6	772	1,421.6
-273	-459.4	-173	-279.4	-73	-99.4	73	163.4	173	343.4	273	523.4	373	703.4	473	883.4	573	1,063.4	673	1,243.4	773	1,423.4
-273.2	-459.7	-174	-281.2	-74	-101.2	74	165.2	174	345.2	274	525.2	374	705.2	474	885.2	574	1,065.2	674	1,245.2	774	1,425.2
		-175	-283.0	-75	-103.0	75	167.0	175	347.0	275	527.0	375	707.0	475	887.0	575	1,067.0	675	1,247.0	775	1,427.0
		-176	-284.8	-76	-104.8	76	168.8	176	348.8	276	528.8	376	708.8	476	888.8	576	1,068.8	676	1,248.8	776	1,428.8
		-177	-286.6	-77	-106.6	77	170.6	177	350.6	277	530.6	377	710.6	477	890.6	577	1,070.6	677	1,250.6	777	1,430.6
		-178	-288.4	-78	-108.4	78	172.4	178	352.4	278	532.4	378	712.4	478	892.4	578	1,072.4	678	1,252.4	778	1,432.4
		-179	-290.2	-79	-110.2	79	174.2	179	354.2	279	534.2	379	714.2	479	894.2	579	1,074.2	679	1,254.2	779	1,434.2
		-180	-292.0	-80	-112.0	80	176.0	180	356.0	280	536.0	380	716.0	480	896.0	580	1,076.0	680	1,256.0	780	1,436.0
		-181	-293.8	-81	-113.8	81	177.8	181	357.8	281	537.8	381	717.8	481	897.8	581	1,077.8	681	1,257.8	781	1,437.8
		-182	-295.6	-82	-115.6	82	179.6	182	359.6	282	539.6	382	719.6	482	899.6	582	1,079.6	682	1,259.6	782	1,439.6
		-183	-297.4	-83	-117.4	83	181.4	183	361.4	283	541.4	383	721.4	483	901.4	583	1,081.4	683	1,261.4	783	1,441.4
		-184	-299.2	-84	-119.2	84	183.2	184	363.2	284	543.2	384	723.2	484	903.2	584	1,083.2	684	1,263.2	784	1,443.2
		-185	-301.0	-85	-121.0	85	185.0	185	365.0	285	545.0	385	725.0	485	905.0	585	1,085.0	685	1,265.0	785	1,445.0
		-186	-302.8	-86	-122.8	86	186.8	186	366.8	286	546.8	386	726.8	486	906.8	586	1,086.8	686	1,266.8	786	1,446.8
		-187	-304.6	-87	-124.6	87	188.6	187	368.6	287	548.6	387	728.6	487	908.6	587	1,088.6	687	1,268.6	787	1,448.6
		-188	-306.4	-88	-126.4	88	190.4	188	370.4	288	550.4	388	730.4	488	910.4	588	1,090.4	688	1,270.4	788	1,450.4
		-189	-308.2	-89	-128.2	89	192.2	189	372.2	289	552.2	389	732.2	489	912.2	589	1,092.2	689	1,272.2	789	1,452.2
		-190	-310.0	-90	-130.0	90	194.0	190	374.0	290	554.0	390	734.0	490	914.0	590	1,094.0	690	1,274.0	790	1,454.0
		-191	-311.8	-91	-131.8	91	195.8	191	375.8	291	555.8	391	735.8	491	915.8	591	1,095.8	691	1,275.8	791	1,455.8
		-192	-313.6	-92	-133.6	92	197.6	192	377.6	292	557.6	392	737.6	492	917.6	592	1,097.6	692	1,277.6	792	1,457.6
		-193	-315.4	-93	-135.4	93	199.4	193	379.4	293	559.4	393	739.4	493	919.4	593	1,099.4	693	1,279.4	793	1,459.4
		-194	-317.2	-94	-137.2	94	201.2	194	381.2	294	561.2	394	741.2	494	921.2	594	1,101.2	694	1,281.2	794	1,461.2
		-195	-319.0	-95	-139.0	95	203.0	195	383.0	295	563.0	395	743.0	495	923.0	595	1,103.0	695	1,283.0	795	1,463.0
		-196	-320.8	-96	-140.8	96	204.8	196	384.8	296	564.8	396	744.8	496	924.8	596	1,104.8	696	1,284.8	796	1,464.8
		-197	-322.6	-97	-142.6	97	206.6	197	386.6	297	566.6	397	746.6	497	926.6	597	1,106.6	697	1,286.6	797	1,466.6
		-198	-324.4	-98	-144.4	98	208.4	198	388.4	298	568.4	398	748.4	498	928.4	598	1,108.4	698	1,288.4	798	1,468.4
		-199	-326.2	-99	-146.2	99	210.2	199	390.2	299	570.2	399	750.2	499	930.2	599	1,110.2	699	1,290.2	799	1,470.2

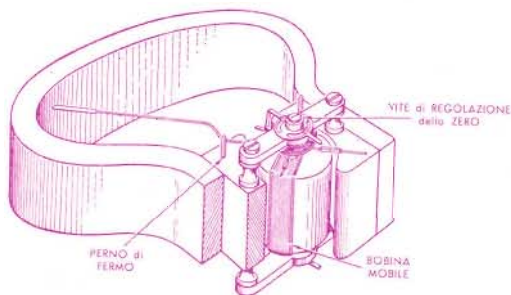
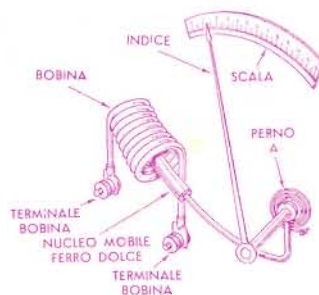
Zero Assoluto

Formule:

$C = 5/9\ (F - 32)$

$F = 9/5\ (C + 32)$

ELECTRONICS

Sul fascicolo della prossima settimana, tra l'altro, la prima delle lezioni dedicate agli strumenti di misura.

Un'esposizione chiara e completa sull'argomento, con numerose illustrazioni: indispensabile premessa alla descrizione di diverse realizzazioni.

I numeri arretrati costano lire 300 cadauno, tuttavia, per agevolare coloro che fossero privi di tutti i fascicoli sinora pubblicati offriamo l'invio — franco a domicilio — dei 4 fascicoli, per il solo importo di lire 600.